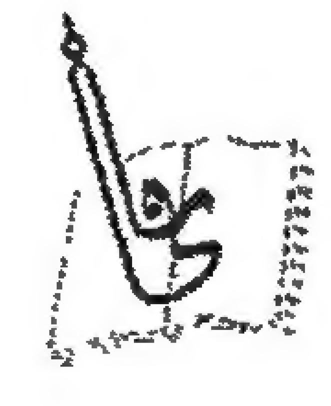

علم الأحافير
والجيولوجيا
د. مروان عبدالقادر أحمد
الجنادرية
ALJANADRIA

علم الأحافير والجيولوجيا

د. مروان عبدالقادر أحمد

الطبعة الأولى 2016





ISBN: 978-9957-580-78-0

المملكة الأردنية الهاشمية

رقم الإيداع في المكتبة الوطنية

2015/10/4974

551.7

إسم الكتاب: علم الأحافير والجيولوجيا

إسم المؤلف: مروان عبدالقادر أحمد

الواصفات: علم التحات//الجيولوجيا/





الأردن- عمان

جوال: 962796296514

تلفاكس: 96264778770

ص.ب 520651 عمان 11152 الاردن

E-mail: dar_janadria@yahoo.com

Dar_yafa@yahoo.com

المقدمة

علم الجيولوجيا هو العلم الذي يختص بدراسة الأرض وطبقاتها وخواصها، منذ نشأتها ومروراً بالعمليات البيئية والصناعية الأخرى التى تؤثر فى تكوينها وتركيبها والظواهر المتعلقة بالأرض مثل الزلازل والبراكين وغيرها، إذن فعلم الجيولوجيا يتناول كل مايتعلق بالأرض من ظواهر وما يؤثر فيها سواء كانت عوامل داخلية أو خارجية، طبيعية أو صناعية.

على هذا الأساس تركز دراسة الجيولوجيا على دراسة الحفريات المجهرية والغير المجهرية وتحليل الرواسب المعدنية لتحديد مواقع المناجم، ومتابعة تحركات الصخور فى طبقات الأرض العميقة وأيضاً تحليل الصخور للتعرف على العصور والحقب التاريخية المختلفة وإستغلالها إقتصادياً، وكلمة "جيولوجيا" هى كلمة ذات أصل يونانى حيث تعنى "جى" الأرض وتعنى "لوجى" علم أى علم الأرض. كما يدخل ضمن تخصصات الجيولوجيا أيضاً دراسة الظواهر الجيولوجية البيئية مثل مسارات الوديان، وتأثير السيول على التوازن البيئى، وتحركات الكثبان الرملية، ودراسة ظواهر التصحر وتأكل الشواطىء؛ بالأضافة إلى إهتمام علم الجيولوجيا بالتركيبات البنائية والصخرية الأثرية ودراسة مواقعها وتأثير عوامل التعرية عليها، بالإضافة إلى مساعدة المؤرخين ودارسى التاريخ فى عملهم للوقوف على سمات فترات تاريخية معينة. لذلك تعتبر دراسة الجيولوجيا فى الخارج دراسة متميزة لما تتميز به الدراسة من إمكانات تكنولوجية متقدمة متاحة أمام الدارسين حيث تعتمد الدراسة على التخلى عن أساليب

الدراسـة التقليدية والأستعانة بأسـاليب الدراسـة العملية والتقنيات العلمية المتطورة جنباً إلى جنب مع الدراسة النظرية.

المؤلف

الفصل الأول

التعريف وأصل المصطلح

تعريف علم الجيولوجيا Geology

الجيولوجيا هي علم الأرض، أي العلم الذي يبحث في كل شئ يختص بالكرة الأرضـــية من حيث تركيبها، وكيفية تكوينها، والحوادث التي تتعاقب عليها منذ نشأتها الأولى.

وكذلك يبحث هذا العلم في حالة عدم الاستقرار والتغير المستمر، الذي يحدث للكرة الأرضية نتيجة لتأثير عمليات وقوي مختلفة، سواء كانت هذه القوي من خارج الأرض أو من داخلها. كما يبحث في نتائج هذا التغير.

ومن أهم فروع الجيولوجيا ما يلي :

1-الجيولوجيا الكونية : Cosmology

تختص الجيولوجيا الكونية بدراسة أصل الأرض وصلتها بالأجرام السماوية وطبيعة تكوين هذه الأجرام، ومقارنة ذلك بطبيعة تكوين الأرض.

2-الجيولوجيا الطبيعية: Physical Geology

تختص بدراســـة العمليات الطبيعية التي أثرت ومازالت تؤثر على القشـــرة الأرضية، والتي شكلت ولا تزال تشكل تضاريس الأرض حتى أصبحت على ما هي عليه الآن، وما يمكن أن تؤو ل إليه في المستقبل.

3-علم المعادن: Mineralogy

يشـــمل علم المعادن دراســـة المعادن من حيث صـــفاتها الطبيعية والكيميائية والتعرف عليها، كما يشمل دراسة وجودها كمواد خام وطرق استخلاصها.

4-علم البلورات : Crystallography

يختص هذا العلم بدراســـة البلورات من حيث شـــكلها الظاهري وتركيبها والتعرف عليها وعلي الصخور والمعادن التي تحتويها.

5-علم الصخور : Petrology

يدرس علم الصـــخور تركيب الصـــخور وكيفية تكوينها، والمواد التي تنتج من تفتيتها وتحليلها والتغيرات التي تطرأ عليها، والعوامل التي تؤثر فيها.

6-الجيولوجيا التركيبية : Structural geology

تختص الجيولوجيا التركيبية بدراســة بناء الكتل الصــخرية،تهتم بصــفة خاصــة بدراســة تصــدع القشـرة الأرضـية وتشـققها والتواء طبقات صـخورها نتيجة القوي التي تتعرض لها من ضغط وشد.

7- الجيولوجيا الاقتصادية : Economic geology

وتشـــمل دراســـة الرواســـب المعدنية ذات القيمة الاقتصـــادية مثل القصـــدير والرصاص والنحاس والذهب، ومعرفة أماكن وجودها.

كما تشمل دراسة أحجار البناء والزخرفة كالرخام والجرانيت، بالإضافة إلى التطبيق العملي للجيولوجيا في خدمة الإنسان ولخيره مثل البحث عن مصادر المياه الأرضية والبحث عن البترول و استخراجه، دراسة التربة، تطبيق الأسس الجيولوجية عند إقامة المشروعات الهندسية مثل بناء المدن وتشييد الخزانات والسدود والطرق.

8-الجيولوجيا التاريخية : Historical geology

ويمكن استعراض الجيولوجية التاريخية من خلال دراسة كل من علم وصف الطبقات، علم الاحافير.

(أ) علم وصف الطبقات Stratigraphy، والي يبحث في تتابع طبقات الصخور وترتيبها في نظام زمني بالنسبة لبعضها.

(ب) علم الاحافير Paleontology الذي يبحث في دراسة بقايا الأحياء التي تحتوي عليها الطبقات الرسوبية. ويشمل أيضا دراسة البيئة القديمة ودراسة المناخ القديم.

9-المساحة الجيولوجية : Geological Surve

وتختص بتمثيل الأشكال التضاريسية لطبقات الصخور، وصفاتها الطبيعية، وتركيبها الجيولوجي والعصر الجيولوجي الذي تكونت فيه في خرائط تطابق الواقع باستعمال مقياس رسم مناسب.

أهمية دراسة الجيولوجيا من الناحية الزراعية

مما سبق تلاحظ كثرة فروع الجيولوجيا، وهذا يوضح مدى أهمية هذا العلم من الناحيتين الأكاديمية والاقتصادية.

فمن الناحية العلمية... استطاع علم الجيولوجيا أن يضئ لنا طريق البحث في تاريخ الأرض ونشأتها وتكوينها،وما ظهر عليها من تغيرات أدت إلى بناء قاراتها وجبالها، وتطور الكائنات الحية التي سكنت سطحها.

ومن الناحية التطبيقية الاقتصادية فان الجيولوجيا ما كان لها أن تتقدم كعلم يخطو خطواته الواسعة، لولا العامل الاقتصادي، لان مدنيتنا الحديثة التي قامت على العلم والصناعة قد ضاعفت كثيرا من قيمة المعادن والصخور المكونة للقشرة الأرضية.

كما يمكن دراسة أهميه الجيولوجيا من الناحية الزراعية من خلال دراسة مصادر المياه الجوفية في محافظة شمال سيناء كأحد مصادر المياه الأروائية المحلية. وقد أوضحت دراسة دياب ، بأنه توجد المياه الجوفية في خمس وحدات جيولوجية مميزة هي :

(1) ترسيبات الرمل والحصي من العصر الرباعي (مستودع صخور الحقب أو الزمن الرابع) حيث يبلغ عدد الآبار التي تستمد مياهها من هذا المستودع بحوالي 204 بئر أهلي وحكومي في شمال سيناء.

(2) طبقات الحجر الجيري من العصر الايوسين حيث تتواجد بعض العيون التي تستمد مياهها من هذه الطبقات مثل عين الجديرات.

(3) صخور العصر الكريتاوي الأوسط وهي تبشر بإمكانات مستقبلية للمياه الصالحة خاصة في مناطق وسط سيناء.

(4) صخور العصر الكريتاوي السفلي حيث تحوي صخور الحجر الرملي النوبي مياه جوفية ذات نوعية صالحة للاستخدام في غالبية مناطق وسط سيناء.

(5) صخور العصر البوراسي،وهي توجد في وسط سيناء في صورة أحجار رملية متداخل فيها طبقات من الطفلة مكونة وحدة من وحدات الحجر الرملي النوبي الحامل للمياه الجوفية الصالحة للاستخدام.

ويتضح مما سبق ذكره، أن مستودع صخور الحقب الرابع هو المصدر الرئيسي للمياه الجوفية في منطقة العريش والساحل الشمالي الشرقي في سيناء حيث أن معدل الإنتاج الآبار فيها مرتفع. بالإضافة إلى أن نوعية المياه الجوفية التي يحويها هذا المستودع تعتبر ذات ملوحة مقبولة وتكاليف إنشاء الآبار منخفضة وذلك نظرا لارتفاع مستوي المياه الجوفية في هذه المنطقة.

كما أوضحت نتائج الدراسة السابقة، أن مصدر تغذية الخزان الجوفي في منطقة شمال سيناء هو التسرب الرأسي لمياه تكوين الحجر النوبي الرملي الحامل للمياه الجوفية خلال فالق لحقن جنوب مدينة العريش، والتسرب الأفقي المحتمل من تكوينات العصرين الكريتاوي والأيوسيني بمناطق شرق البحر المتوسط حيث الأمطار والعواصف المطيرة بحوض وادي العريش وكذلك أحواض الوديان بالمنطقة، وسلاسل جبال وسط وشمال سيناء. وأن احتمال تغذية مستودع

الحقب الرابع عن طريق المياه المدفوعة من مستودع الحجر الرملي النوبي أمر قام.

ومن خلال دراسة كل من مصادر المياه الجوفية تغذية الخزان الجوفي، يمكن تقدير كمية المياه الجوفية المتاحة وذلك على أساس حساب الميزان المائي للأحواض المائية.

الأغلفة المكونة للأرض بوجه عام

من المعروف أن الكرة الأرضية تتكون من مواد مختلفة، فمنها ما هو في حالة غازية ومنها ما هو في حالة سائلة أو صلبة. ولتبسيط الدراسة يمكن التعرف على ثلاثة أجزاء رئيسية طبيعية لمكونات الأرض كما يلي :

أولا : الغلاف الجوي :Atmosphere

هو الجزء الغازي الذي يحيط بالكرة الأرضية إحاطة تامة ويمتد على الأقل ما يقرب من 250 ميلا من سطح الأرض، ونسبة وزنه إلى وزن الأرض تعادل 200,000 : 1 وتقل كثافة هذا الغلاف الغازي كلما ابتعدنا عن سطح الأرض، ويبلغ متوسط ضغطه عن سطح البحر ما يعادل 14,7 رطل على البوصة المربعة =(76 سم / زئبق). ويتكون هذا الغلاف من خليط من النيتروجين والأكسجين بنسبة 1:4 تقريبا (79,4 : 20,6 ٪)، وهذا بالإضافة إلى كميات صغيرة من الأرجون والأمونيا وغازات كبريتية وبخار الماء ثاني أكسيد الكربون بجانب بعض الأبخرة الأخرى والأتربة البركانية. وقد أمكن التعرف على ثلاث نطاقات رئيسية في الغلاف الجوي هي، من أسفل إلى أعلي :

(1) تروبوسفير Troposphere.

(2) ستراتوسفير Stratosphere.

(3)أيونوسفير Ionosphere.

وذلك على أساس نوع ونسبة الغازات السائدة، واتجاه حركة هذه الغازات، ومتوسط درجة الحرارة ومعدل تغيرها في كل من هذه النطاقات.

ومن المعتقد أن تركيب الغلاف الجوي كان مختلفا في العصور الجيولوجية القديمة عن تركيبه الحالي وخاصة في نسبة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ويمكن الاستدلال على هذا الاختلاف في التركيب من النسبة العالية لعنصر الأكسجين الداخل في تكوين صخور القشرة الأرضية وكذلك من كمية الرواسب الفحمية التي تكونت من الغابات الكثيفة التي كانت منتشرة في تلك الأزمنة الغابرة في كثير من أنحاء الأرض.

ولهذا الغلاف الحيوي أهميته الجيولوجية من حيث نشاطه الكيميائي والطبيعي الذي يؤثر تأثيرا فعالا على سطح الأرض، إذ يؤكد الأكسجين المعادن والصخور التي تكون القشرة الأرضية مكونا بذلك مواد جديدة، كما أن ثاني أكسيد الكربون القابل للذوبان في الماء يكسبه قدرة ظاهرة على إذابة بعض الصخور وخاصة الجبرية منها.أما عن النشاط الطبيعي لهذا الغلاف فيكفي التنويه إلى عمل الرياح الذي يساعد في تفتيت صخور القشرة الأرضية وكذلك حملها ونقلها من مكان لآخر.

ويمكن تلخيص العمل الجيولوجي لهذا الغلاف الجوي في أنه عمل هدام للسطح الخارجي للقشرة الأرضية في وقت نشاطه في مكان ما في حين أنه عمل بنائي في نفس الوقت في مكان آخر.

ثانيا : الغلاف المائي :Hydrosphere

يتكون هذا الغلاف من مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار، أي أنه يشمل كل مجاري المياه السطحية، وكذلك المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمعروفة بالمياه الجوفية التي تتخلل الصخور المسامية وتتسرب خلال الشقوق والفجوات في الصخور الأخرى إلى عمق قد يصل إلى آلاف الأقدام من سطح الأرض.

ويغطي الغلاف المائي ما يقرب من ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية، ويختلف نوع المياه من مكان لآخر في هذا الغلاف وذلك تبعا لكمية الأملاح الذائبة فيه، فتزداد درجة الملوحة في البحار في البحار المقفولة عنها في البحار المفتوحة وهذه أكبر بقليل من درجة الملوحة في المحيطات وذلك حسب كمية كلوريد الصوديوم الموجودة في كل منها.

في حين أن مياه الأنهار عذبة إذا ما خلت من هذا الملح ولكن أحيانا تكون في حالة وسط بين الملوحة والعذوبة (دلعة أو ماسخة Brackish) وخاصة عند تقابل مياه الأنهار والبحار عند المصبات، ويحتوي ماء البحر على كميات متفاوتة من الأملاح المذابة، منها كلوريد الصوديوم وكلوريد الماغنسيوم، ومن الكبريتات : كبريتات الماغنسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم ثم كربونات الكالسيوم.

والمعروف أن كربونات الكالسيوم الموجودة في مياه البحار ذات أهمية جيولوجية خاصـــة رغم أن كميتها لا تتعدى 0,34 ٪ من كمية الأملاح الأخرى، فقد تسـتعملها الحيوانات البحرية لبناء الهياكل العظمية الخاصـة بها من أصـداف ومحارات أو أغلفة وقشور لها،وتؤدي هذه الهياكل العظيمة – بعد موت الكائنات الحية الحاوية لها – إلى تكوين الطبقات الرسوبية الجيرية بتراكمها فوق بعضـها في قاع البحار والمحيطات.

ولا يمكن إهمال الأثر الجيولوجي للغلاف المائي على سطح القشرة الأرضية بل وما تحت السطح، فالمياه عامل هدام إذ أنها تفتت الصخور وتحملها من مكان لآخر مثل الأمطار والسـيول الجارفة والأمواج الصـاخبة على سـطح القشـرة الأرضية.

ومن ناحية أخري فان لهذا الغلاف عمل بنائي إذ أن المياه تحمل وتنقل المواد التي سبقت أن هدمتها وكسرتها وفتتتها،ثم ترسبها في أماكن أخري.

منذ القدم ارتبط الماء بالحياة نفسها قال تعالى " وجعلنا من الماء كل شي حي " ومما لا شك فيه إن الماء كان ولا يزال أولى أسـاسيات بقاء الإنسان وازدهاره. قديما نشأت الحضارات حول مصـادر المياه وحتى يومنا هذا يعتبر الماء أولى أسـاسـيات قيام الدول القوية. وإذا كانت معظم نزاعات وحروب البشـر السـابقة مردها التنافس على الثروات والأراضـــي والســلطة فان حروب البشـــر القادمة سوف تكون صراع على مصادر المياه كما تشير معظم الدراسات الاستراتيجية، خاصـــة وان هناك تزايد كبير على الماء بســبب تزايد سـكان الأرض وبسـبب تصاعد النشاطات الصناعية والزراعية والخدمية التي تحتاج للماء.

تعريف علم المياه والري

علم المياه أو الـــ " هيدرولوجيا " هو علم يهتم بالمياه التي نجدها على سطح الكرة الأرضية وكذلك فوقها وتحتها، بتشكلها، بدورانه، وبتوزعها زمانياً ومكانياً، بخواصها البيولوجية، الفيزيائية والكيميائية وتفاعلها مع بيئاتها بما فيها الكائنات الحية.

أو هو علم يدرس العمليات التي تتحكم بتذبذبات المصادر المائية للسطوح الأرضية، ويهتم بالمراحل المختلفة للدورة الهيدرولوجية.

ويمكن أن يقال: إن علم المياه هو العلم الذي يدرس العمليات التى تحكم استنفاد وتجديد الموارد المائية لمساحات الأراضي، ويعالج المراحل العديدة لدورة الماء (فى الطبيعة).

وجاء في كتاب " أبجد العلوم " باسم ((علم الريافة وهو: معرفة استنباط الماء من الأرض بواسطة بعض الأمارات الدالة على وجوده. فيعرف بعده وقربه بشم التراب، أو برائحة النباتات فيه، أو بحركة حيوان مخصوص وجد فيه، فلا بد لصاحبه من حس كامل، وتخيل قوي شامل. ونفع هذا العلم بيّن، وهو من فروع الفراسة من جهة معرفة وجود الماء والهندسة من جهة الحفر، وإخراجه إلى وجه الأرض.

نبذة تاريخية :

نشأت الحضارات القديمة على ضفاف الأنهار التي وفرت المياه للزراعة، وزرع المصريون حوالي عام 5000 ق.م الأراضي التي تحولت بفعل فيضانات نهر

النيل إلى مناطق خصـــبة. وحوالي عام 3000 ق.م شـــيدوا مجموعة من النظم التي احتوت على قنوات مُتقنة تنقل المياه من النيل إلى حقولهم. وشُـــيّدت في ذلك الوقت أيضًـــا مشـــروعات ريٍّ ضـــخمة في كل من الصـــين والهند وجنوب غربي آسيا، وفي منطقة الشرق الأوسط مثل العراق والأردن.

اســـتخدم الهنود في المكســـيك وبيرو حوالي عام 800 ق.م مياه الأنهار لزراعة الذرة الشـامية. ووجد الإسبان عند دخولهم هذه البلاد في القرن السـادس عشـر الميلادي، حضـــارات عظيمة معتمدة على الزراعة الإروائية، ويُقدر العلماء أن الهنود الأمريكيين قاموا بري آلاف الهكتارات من الأراضـــي قبل القرن الســـابع الميلادي، في المناطق التي تعرف اليوم بأريزونا الوسطى.

والماء هو المادة الأكثر شيوعًا على الأرض، ويغطي أكثر من 70% من سطح الأرض. يملأ الماء المحيطات، والأنهار، والبحيرات، ويوجد في باطن الأرض، وفي الهواء الذي نتنفســـه، وفي كل مكان. ولاحياة بدون ماء، قال تعالى: ﴿وجعلنا من الماء كل شيء حيٍّ أفلا يؤمنون﴾ الأنبياء:30. كل الكائنات الحية (نبات، حيوان، إنســـان) لابد لها من الماء كي تعيش. وفي الحقيقة فإن كل الكائنات الحية تتكون غالبًا من الماء، كما أن ثلثي جســـم الإنســـان مكون من الماء، وثلاثة أرباع جســـم الدجاجة من الماء. كما أن أربعة أخماس ثمرة الأناناس من الماء. ويعتقد بعض علماء الطبيعة أن الحياة نفســـها بدأت في الماء. في ماء البحر المالح.

ومنذ بداية العالم والماء يقوم بتشـــكيل تضـــاريس الأرض. فالمطر يهطل على اليابســـة ويجرف التربة إلى الأنهار. ومياه المحيطات تلتطم بالشـــواطئ بقوة

مُكسِّرة ومُحطمة للهُوات الصخرية على الشاطئ، كما أنها تحمل الصخور المحطمة وتبني رواسب صخرية حيثما تفرغ حملها، والمثالج تشق مجاري الوديان..

ويحُول الماء دون تغيُّر مناخ الأرض إلى البرودة الشديدة أو الحرارة الشديدة. وتمتص اليابسة حرارة الشمس وتطلقها بسرعة بينما تمتص المحيطات حرارة الشمس وتطلقها ببطء، ولهذا فإن النسيم القادم من البحر يجلب الدفء إلى اليابسة شتاءً والبرودة صيفًا.

كان الماء ــ ولا يزال ــ عصب الحياة، فقد ازدهرت الحضارات المعروفة حيثما كانت مصادر الماء وفيرة، كما أنها انهارت عندما قلت مصادر المياه. وتقاتل الناس من أجل حفرة ماء مشوب بالوحل، كما عبد الوثنيون آلهة المطر وصلَّوا من أجلها. وعلى العموم فعندما يتوقف هطول الأمطار فإن المحاصيل تذبل وتعُمُّ المجاعة الأرض. وأحيانًا، تسقط الأمطار بغزارة كبيرة وبصورة فجائية، ونتيجة لهذا فإن مياه الأنهار تطفح وتفيض فوق ضفافه، وتغرق كل ما يعترض مجراها من بشر وأشياء أخرى.

أهمية علم المياه والري :

كل نبات وحيوان وإنسان بحاجة إلى الماء ليبقى حيًا؛ ذلك لأن كل العمليات الحيوية من تناول الطعام إلى التخلص من الفضلات تحتاج إلى الماء. لكن اعتماد الناس على الماء يتعدى حاجتهم للبقاء أحياء، فنحن نحتاج إلى الماء أيضًا في أسلوب ونمط معيشتنا، ونحتاج إليه في منازلنا للنظافة الشخصية

وطبخ الطعام، وغسل الأطباق، ونحتاج إليه في مصانعنا لإنتاج كل شيء تقريبًا من السيارات حتى السحَّابات التي نستعملها في ملابسنا. ونحتاجه في عمليات الري لزراعة المحاصيل في المناطق التي لاتحظى بأمطار كافية.

نشأة علم الري:

في اليمن نشأت أول حضارة نهرية معروفة في تاريخ العالم تعتمد في زراعتها على الري، وفيها انتقل الإنسان من طور القنص والصيد إلى طور الفلاحة والزراعة التي تعتمد على الري، وكانت الخطوة الأولى عندما بدأ الإنسان اليمني باكتشاف سبل إيصال الماء إلى الأرض الزراعية، وفي تجاربه في شق الجداول والخزانات والسدود، نشأ علم الري في التاريخ، ومعه اشتهرت الحضارة النهرية.

أهم إنجازات المسلمين في علم المياه والري

جاء الحكم الإسلامي فنظم توزيع المياه بشكل قلَّ نظيره في أي قانون دولي، ولا تزال كتب الفقه الإسلامي تسهب في تفصيلات تنظيم المياه والسقي، وتحرم بعض فقراته استخدام مياه الجداول والأنهار الخاصة لأي غرض، ولو كان الوضوء للصلاة دون إذن من صاحبها الشرعي.

ولم يعرف العالم أزمة المياه إلا في العصور المتأخرة نتيجة الهدر المائي والتوزيع السيء لهذهِ الثروة، إضافة إلى الظروف المناخية التي ساعدت على تفاقم هذه الأزمة وانتشارها، واللافت للنظر في بحث المياه – كما سنرى – أنها شكلت أولى الحضارات في العالم؛ لتنتهي مناطق هذه الحضارات بنضوب هذه الثروة وحدوث ما يسمى بأزمة المياه.

والمسلمون أول من أدخلوا شبكات المياه في مواسير الرصاص أو الزنك إلى البيوت والحمامات والمساجد.. وقد أورد كتاب "صناعات العرب " رسما وخرائط لشبكات المياه في بعض العواصم الإسلامية.

توزيع الموارد المائية في الوطن العربي:

يقع حوالي 80% من المساحة الكلية للوطن العربي في المناطق المناخية الجافة وشبه الجافة التي تتسم بسقوط متذبذب للأمطار على مدار السنة، وبالتغير في كمياته من سنة إلى أخرى. وإذا كانت مساحة الوطن العربي تمثل 10.2% من مساحة العالم فإن موارده المائية لا تمثل سوى 0.5% من الموارد المائية المتجددة العالمية، كما لا يتجاوز معدل حصة الفرد العربي حاليا من الموارد المائية المتاحة، حدود 1000 متر مكعب سنوي، مقابل 7000 متر مكعب للفرد كمتوسط عالمي.

وتشير بعض المصادر إلى أن جملة الموارد المائية المتاحة (المتجددة) في الوطن العربي تقدر بما يقارب 265 مليار متر مكعب في السنة، تتوزع بين 230 مليارا كمياه سطحية و35 مليارا كمياه جوفية، بالإضافة إلى بعض المياه الناجمة عن إعادة استخدام المياه العادمة من الصناعة والصرف الصحي وتلك المتأتية من تحلية المياه المالحة.

ورغم ضعف مستوى حصة الفرد العربي من الماء في الوقت الحاضر فإن التنبؤات المستقبلية تشير إلى أن هذا المستوى سوف ينخفض إلى حدود 460م2 في السنة بحلول عام 2025، وأن أكثر من نصف الوطن العربي سيصبح تحت

خط الفقر المائي (التقرير الاقتصادي العربي الموحد، 2001، ص 38). تضاف إلى ذلك احتمالات تناقص كميات المياه التي ترد من الخارج بسبب بعض الخلافات مع دول الجوار المشتركة معها في مصادر هذه المياه، والتي تمثل 50% من المياه المتاحة عربيا والواردة أساسا من نهر النيل ونهري دجلة والفرات ونهر السنغال.

وتتوزع المياه السطحية المتاحة في الوطن العربي كما يلي (حسب التقرير الموحد، 2001).

38.5%من مجموع المياه السطحية المتاحة عربيا في الإقليم الأوسط (مصر والسودان والصومال وجيبوتي).

37%منها في إقليم المشرق الغربي (الأردن وسوريا ولبنان والعراق وفلسطين).

19.7%في دول المغرب العربي (ليبيا وتونس والجزائر والمغرب وموريتانيا).

4.8%في شبه الجزيرة العربية (اليمن ودول مجلس التعاون الخليجي).

استخدامات الموارد المائية:

تقدر استخدامات المياه في الدول العربية بما يناهز 190.7 مليار متر مكعب سنويا وهو ما يمثل نسبة 72% من مجموع الموارد المائية المتاحة. وتتوزع هذه الاستخدامات بين قطاع الزراعة بنسبة 87% والاستخدام المنزلي بنسبة 8% والاستخدامات الصناعية بنسبة 5%. وتعكس أهمية النسبة التي يستحوذ عليها

قطاع الزراعة من جملة استخدامات المياه، ضرورة استعمال التقنيات المتطورة من أجل عقلنة وترشيد استخدام المياه في هذا القطاع.

وتعادل جملة الاستخدامات المائية في الزراعة في الوطن العربي 166.5 مليار متر مكعب في السنة، منها حوالي 157 مليارا تستخدم سنويا في الري السطحي. وتقدر كفاءة هذا النظام بـ 38% في السنة، مما يعكس أن نسبة مهمة من الموارد المائية تضيع هدرا وتسربا وتبخرا وتلوثا. ويُعزَى الهدْرُ في الموارد المائية إلى عدة عوامل من بينها: تدني مستوى كفاءة إدارة الموارد المائية، وتدني مستوى أو حتى فقدان الوعي المائي وما يرتبط به من إسراف وتبذير وتلويث للمياه، وتخلُّف مستوى التجهيزات والبنية التحتية في مجال استخدام المياه في أغلب الدول العربية بصورة عامة، واستخداماتها في الري بصورة خاصة.

وهنا نشير إلى ضرورة ترشيد استخدام الموارد المائية المتاحة عربيا والحاجة الملحة إلى العمل على توفير المزيد من هذه الموارد، وهو ما يستوجب تكافل الجهود العربية وتكاملها من أجل الحدِّ من سوء استغلال المياه المتاحة اللازمة لإنتاج زراعي يقابل الطلب على الغذاء في وطننا العربي.

- ما كميات الماء على الأرض؟

هناك نحو 1،4 ألف مليون كم2 من الماء على الأرض. ويحوي الكيلو متر المكعب من الماء أكثر من 0،9 مليون مليون لتر من الماء.

- ما مقدار الماء العذب على الأرض؟

3%فقط من الماء على الأرض ماء عذب، وحوالي ثلاثة أرباع هذا الماء العذب متجمد في المثالج والأغطية الثلجية. وُتقدر كمية الماء المتجمد هذا بما يعادل كميات الماء التي تجري في كافة أنهار الأرض لمدة ألف عام.

- كم تحوي الكائنات الحية من الماء؟

تتألف الكائنات الحية غالبًا من الماء؛ فمثلاً يشكل الماء حوالي 65% من جسم الإنســان، 70% من جســم الفيل، 80% من درنة البطاطس، 95% من ثمرة الطماطم.

- ما كمية الماء التي يستهلكها الفرد الواحد طوال حياته؟

متوســط ما يســتهلكه الفرد الواحد من الماء طوال حياته نحو 60600لتر.
ما الصور المختلفة لوجود الماء؟

يُعتبر الماء المادة الوحيدة على الأرض التي يمكن وجودها بشــكل طبيعي في ثلاث حالات: يوجد في الحالة السائلة، والصلبة (جليد) والغازية (بخار ماء)

- مامقدار كمية الماء التي يستعملها الفرد الواحد يوميًا؟

في الأقطــار المتقـدمــة يســتعمــل الفرد نحو 380 لترًا في المنزل يوميًــا.
ما أكثر استعمالات الماء؟

يُستعمل الماء بكثرة في الصناعة، فهي تحتاج إلى نحو 300 لتر من الماء لإنتاج ورق نسخة واحدة من صحيفة يومية، وحوالي 170 لترًا من الماء لإنتاج كيلوجرام واحد من الفولاذ.

- هل يأتي وقت ينفد فيه الماء تمامًا؟

يستعمل الماء ويعاد استعماله مرات ومرات ولايمكن أن ينفد بالاستعمال، ويحتوي كل كأس ماء نشربه على جزيئات من الماء استعملت سابقًا عددًا لايحصى من المرات.

أزمة المياه المعاصرة

توقع تقرير للأمم المتحدة أن تصل أزمة المياه العالمية إلى مستويات لم يسبق لها مثيل خلال السنوات المقبلة.

وحذر التقرير الذي أعدته منظمة الأمم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم (يونيسكو) عشية منتدى الماء الثالث الذي عقد في كيوتو باليابان من التدهور المستمر في مصادر المياه بسبب نمو السكان وتلوث وتغيير مناخي متوقع.

و المدير العام لمنظمة الأمم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم (يونيسكو) كويتشيرو ماتسيرا: إنه "ما من منطقة ستفلت من تأثير هذه الأزمة التي تمس كل مظاهر الحياة من صحة الأطفال إلى قدرة الأمم على تأمين الغذاء لمواطنيها."

وأضـاف أن "إمدادات المياه تنخفض فيما يتنامى الطلب بشـكل مثير في نسـبة غير قابلة للدعم على مدى السـنوات الـــ 20 المقبلة" محذرا من أن "المتوسـط العالمي لمعدل نصيب الفرد الواحد من المياه سينخفض بمقدار الثلث."

وأنحى التقرير باللائمة إلى حد كبير على غياب الالتزام الســـياســـي عالميا للتعامل مع هذه الأزمة بجدية، وللتوصـــل إلى حل ناجع يقلص النقص العالمي لإمدادات المياه "على الرغم من توافر أدلة واســـعة على هذه الأزمة إلا أن الالتزام السياسي يتجه عكس ذلك."

وذكر التقرير أن "الموقف والمشاكل الأخلاقية تكمن في قلب الأزمة" إضافة إلى "القصـــور الذاتي في مســـتوى القيادة وســـكان العالم لعدم إدراكهم التام لمقياس المشاكل مما يعني أننا نخفق في اتخاذ الإجراء التصحيحي المناسب المطلوب."

وقال التقرير: إن التحدي على مسـتوى عالمي "يكمن في رفع الارادة السـياسـية لتطبيق التزامات ذات علاقة بالمياه وما عدا ذلك ستظل المياه منطقة للخطابات السياسية والوعود العالية بدلا من أعمال مطلوبة جدا."

وحذر التقرير من أن هناك أكثر من 180 بلدا وأرضا تعيش في حالة من الازمة فيما يتعلق بشُـــحِّ إمدادات المياه، أو تجهيز الماء النظيف الصـــالح للشـــرب. وصنف التقرير دولة الكويت على أنها فقيرة من ناحية توافر المياه إذ أن نصيب الفرد الســـنوي من المياه هو 10 أمتار مكعبة فقط يليها قطاع غزة ب (52 مترا مكعبا)، ودولة الامارات العربية المتحدة (58 مترا مكعبا)، وجزر الباهاما (66 مترا مكعبا)، ودولة قطر (94 مترا مكعبا)، وجزر المالديف (102 متر مربع)،

وليبيا (113 مترا مربعا)، والمملكة العربية السعودية (118 مترا مربعا)، ومالطا (129 مترا مربعا)، وسنغافورة (149 مترا مربعا).

وذكر أن أغنى عشرة بلدان بالمياه هي غينيا الفرنسية وأيسلندا وجوانا وسورينام والكونغو وبابوا غينيا الجديدة والجابون وجزر سليمان وكندا ونيوزيلندا. وحذر التقرير من أنه "في منتصف هذا القرن وفي أسوأ الاحوال سيواجه سبعة مليارات نسمة في 60 بلدا مشكلة ندرة الماء"

وأضاف أن تغيير المناخ يأخذ بالحسبان ما يقدر ب 20 في المائة من الزيادة في ندرة المياه العالمية بينما ستكون عملية إغراق النفايات عنصرا أساسيا يؤدي إلى تلوث الماء عالميا متوقعا أن تسوء الأزمة على الرغم من النقاش المستمر. وبيَّن أن حوالي طنين من النفايات يتم التخلص منها يوميا عبر إلقائها في الأنهار والبحيرات والجداول مشيرا إلى أن لترا واحدا ملوثا من المياه القذرة يلوث حوالي ثمانية لترات من المياه العذبة.

ووفقا للتقرير فإن هناك نحو12 ألف كيلومتر مكعب من المياه الملوثة عالميا وهو أكثر من إجمالي كميات المياه التي تحتويها عشرة من أكبر أنهار العالم مشيرا إلى أن أنهار قارة آسيا هي الأكثر تلوثا.

وحذر من أنه إذا استمر الأمر من دون تغيير فإن العالم سيفقد بحدود 18 ألف كيلومتر مكعب من المياه العذبة بحلول عام 2050م.

وصنف التقرير نوعية المياه في بلدان كبلجيكا والمغرب والأردن والهند والسودان والنيجر وبوركينا فاسو وبوروندي وجمهورية أفريقيا الوسطى ورواندا على أنها الأدنى عالميا.

فيما اعتبر أن أفضل نوعية من المياه في العالم هي في بلدان كفنلندا وكندا ونيوزيلندا والمملكة المتحدة واليابان والنرويج وروسيا والسويد وفرنسا.

وقال التقرير: إن "الفقراء يظلون هم الأكثر تضررا إذ أن 50 في المائة من سكان البلدان النامية يستخدمون مصادر المياه الملوثة."

وذكر أن ستة آلاف شخص معظمهم من الأطفال دون سن الخامسة يموتون كل يوم بسبب أمراض الإسهال وهو الأمر الذي يصور فداحة المشاكل التي تواجه العالم في احترام مصادر المياه.

وحذر التقرير مجددا من أن "أكثر من 2ر2 مليون شخص يموتون سنويا نتيجة لأمراض متعلقة بتلويث المياه الصالحة للشرب، والتصريف السيىء لمياه المجاري".

وخلص تقرير (يونيسكو) إلى أنه فيما يتعلق بالنمو السكاني فإن "استهلاك المياه تضاعف تقريبا في السنوات الخمسين الأخيرة مما يشير إلى أن الطلب على الماء سيكون أكثر من الكميات المعروضة."

هذا وكانت الأمم المتحدة قد أقرت رسميا في 12 ديسمبر اعتماد سنة 2003 عاما دوليا للمياه الصالحة للشرب. ويأتي إقرار هذه السنة العالمية للمياه في وقت يحصل فيه توافق دولي على ضرورة التحرك لتجنب أن تتحول المياه إلى

مصدر لصراعات المستقبل، إذ تشير الإحصائيات إلى أن 1،2 مليار نسمة في العالم ليس لهم أي وصـول إلى شـبكات المياه الصـالحة للشـرب، والمقصـود بالوصـــول إلى شـــبكات المياه، إمكانية الحصـــول يوميا على حوالي 20 لترا للشخص الواحد، وبالتنقل لمسافة لا تتجاوز كيلومتر واحد عن مكان الإقامة.

يضـــاف إلى ذلك أن أكثر من 2،4 مليار نســـمة في العالم يعانون من عدم توفرهم على شبكات صرف المياه، مما يضاعف من أخطار الإصابة بأمراض كثيرة، وكون أن أكثر من 90% من مياه الصــــرف وأكثر من 70% من مياه المعامل تصـــرف بدون معالجة، يؤدي إلى ارتفاع تلوث البيئة ومصـــادر مياه الشرب.

وإذا كان أكثر من 70% من المياه المعدنية فوق الكرة الأرضية تسخر للزراعة، فإن الكمية المتبقية والمستعملة للشرب توزع بشكل غير عادل، إذ أن المواطن في البلدان المصـــنعة يســـتهلك يوميا ما بين 400 و500 لتر، بينما يســـتهلك الشخص في البلدان النامية معدلا لا يتجاوز 20 لترً.

ومن الفوارق الصـــارخة في هذا الميدان، كون المواطن في البلدان المصـــنعة يستهلك عند إطلاق صهريج دورة المياه مرة واحدة، ما يستهلكه يوميا شخص في البلدان النامية في شربه وغسيله وطهي طعامه وتنظيف ثيابه.

وقد تعهد قادة الدول في قمة الألفية عام 2000 في نيويورك بالعمل على تخفيض نسـبة الأشـخاص غير القادرين على الوصـول إلى مصـادر المياه

الصالحة للشرب إلى النصف بحلول عام 2015م، وكذلك بالنسبة للأشخاص غير المستفيدين من شبكات الصرف الصحي.

ولإنجاز ذلك، ترى الأوساط الأممية أن على المجموعة الدولية أن تضيف حوالي 14 مليار دولار لزهاء الـ 30 مليار دولار التي تنفق سنويا لتأمين المياه الصالحة للشرب ولشبكات الصرف الصحي في العالم.

ويعيش حاليا أكثر من 40% من سكان العالم في مناطق تعرف قلةً في الموارد المائية. وقد تصل هذه النسبة في عام 2025م إلى ثلثي سكان العالم أي حوالي 5،5 مليار نسمة. ومن المناطق المهددة بالدرجة الأولى، بلدان شمال إفريقيا وغرب وجنوب القارة الآسيوية.

و تحتل الدول العربية الصدارة في المناطق المهددة بنقص في المياه، سواء في شمال إفريقيا أو آسيا، فإنها تحتل الصدارة أيضا في قائمة الدول التي قد تعرف توترات بسبب تقاسم مصادر مائية مع بلدان أخرى.

ويكفي الإشارة إلى التوتر القائم بين لبنان وإسرائيل بخصوص نهر الليطاني، وكذلك الخلاقات القائمة بين إسرائيل والفلسطينيين أو بين إسرائيل والأردن. كما أن ملف تقاسم المياه بين سوريا وتركيا والعراق لازال أحد أسباب التوتر في المنطقة.

وقد تم إحصاء أكثر من 261 مجرى مائي عابر لحدود أكثر من دولتين. وتشترك البحيرات والبحار في حدود أكثر من 145 دولة، كما أن هناك أنهارا تشترك فيها العديد من الدول مثل نهر النيل أو نهر الدانوب.

وعلى الرغم من أن الاشتراك في تقاسم المصادر المائية يُعَدُّ من أسباب التوتر الدولي الرئيسية، فإن عدد الصراعات التي نشبت فيها أعمال عنف بسبب المياه خلال الخمسين عاما الماضية لا تتعدى الخمسة والثلاثين. وللعثور على حرب حقيقية بسـبب المياه في تاريخ الإنسـانية يجب العودة إلى ما قبل 4500 عام، وكانت حول مياه دجلة والفرات.

ولمواجهة هذه التخوفات الحقيقية والمبالغ فيها عند الحديث عن المياه في العالم، سـيتم التطرق خلال العام العالمي للمياه إلى كيفية الحفاظ على الموارد المائية، وتسخير التكنولوجيا للحد من تلوثها وتبخرها وحسن استغلالها إما للري أو للشرب، وهو ما تهدف الأمم المتحدة إلى إشراك الحكومات وممثلي المجتمع المدني وأصحاب القطاع الخاص في إثرائه.

وبذلك تحتفظ القوي الطبيعية دائما بالتوازن في عملها وتأثيرها على سطح الكرة الأرضية وكذلك في باطنها.

يختلف عمق الغلاف المائي السطحي من مكان لآخر اختلافا واضحا، وقد قدر أعظم عمق – عرف حتي الآن – لهذا الغلاف بسـتة أميال تقريبا بالقرب من إحدى جزر الفيليبين. وتتكون أعمق الأماكن لهذا الغلاف في شـكل أحواض ضيقة طويلة تسمي أعماق Deeps وغالبا ما توجد بالقرب من القارات أو حول أقواس الجزر وخاصة في المحيطين الهادي والهندي.

ثالثا : الغلاف الصخري :Lithosphere

يشمل هذا الغلاف الجزء الصخري الصلب (وكذلك المنطقة المركزية الرخوة) من الأرض، ويغمر الغلاف المائي ما يقرب من ثلاثة أرباع هذه اليابسة فلا يظهر منها إلا ما يكون القارات فقط.

وقد أدت الدراسات الجيولوجية والطبيعية الي أن اليابسة تتكون من طبقات متركزة Concentric shells تحيط بنواه مركزية Central core أن هذه الطبقات تتكون من مواد مختلفة ويحتمل أن تكون في حالات طبيعية مختلفة.

ويمكن تقسيم الغلاف الصخري إلى :

(1) القشرة الأرضية: Earth crust.

وتتكون من طبقتين متراكزتين تتميز الطبقة الخارجية منها بصخور خفيفة نسبيا أي ذات وزن نوعي صغير – مثل صخور الجرانيت.

كما أنها تشمل الصخور الرسوبية. وأهم مكونات صخور هذه الطبقة هي السيليكا (أكسيد السيليكون) والأومينا (أكسيد الألومنيوم) ولذلك يطلق عليها أسم سيال Sial نسبة إلى الأحرف الأولي من مكوناتها الأساسية. ويتراوح سمك هذه الطبقة بين 10–15 كيلو مترا، ويبلغ متوسط الوزن النوعي لصخورها 2,7، غالبا ما تكون فاتحة اللون لازدياد نسبة السيليكا والأومينا بها (أكثر من 60٪).

أما الطبقة الداخلية من القشرة الأرضية فتتكون عادة من صخور داكنة اللون، ثقيلة نسبيا إذ يبلغ وزنها النوعي ما بين 2,9، 3,4 وذلك لنقص نسبة السيليكا

حيث تقل بكثير عن سابقتها وتتراوح ما بين 50،40 ٪ من مجموع مكونات هذه الطبقة، وتلي السـيليكا في الأهمية في هذه الطبقة مركبات الماغنسـيوم (الماغنيزيا) ولذلك تعرف بطبقة سـيما Sima، ويتراوح سـمك الطبقة الداخلية للقشرة الأرضية ما بين 20 إلى 25 كيلو مترا.

وقد استنتج أن الأجزاء السـطحية من القارات تتكون من طبقة السـيال أي الصـخور الجرانيتية وما يعادلها، وكذلك الصـخور الرسـوبية الطبقية، بينما تتكون جذور هذه القارات من السيما الثقيلة الوزن. وتكون صخور السيما كذلك قاع المحيطات كما هو الحال في المحيط الهادي حيث لا توجد طبقة السـيال ولكن توجد هذه الأخيرة في طبقة رفيعة في قيعان المحيطات الأخرى.

(2) **الستار:** Mantle.

يتكون هذا النطاق الذي يلي القشرة الأرضـية من صـخور أكثر قتامة في اللون وأكبر كثافة وقاعدية من صـخور السـيما وذلك لاحتوائها على نسـبة أكبر من المركبات القاعدية (المركبات الحديدية والماغنيسية).

ويجد هذا النطاق على عمق يتراوح ما بين 30،40 كيلو مترا من سطح اليابسة وبقدر سمكها بما يقرب من ثلاثة آلاف كيلو مترا (2900 كيلو متر).

ويمكن التعرف على طبقتين مختلفتين في نطاق السـتار، تفوتان في التركيب الكيميائي للصـخور المكونة لكل منها، حيث تزداد القاعدية وبالتالي قتامة اللون والكثافة من طبقة السـتار الخارجية (طبقة البريدتيتPeridotite)،(من أنواع الصـخور فوق القاعدية Ultrabasic وتزيد كثافتها عن صـخور السيما) وتعرف

طبقة الســــتار الداخلية التي تتكون غالبا من خليط من المعادن القاعدية وفلز الحديد باسم بالاسيت **Pallasite**.

النواة: core.

وقد يسمي أحيانا وبصفة عامة جوف الأرض Centrosphere وقد حار العلماء في استنتاج حالة هذا الجزء المركزي للأرض و خصائصه بين كونه نواة صلبة أو لزجة نصف شفافة أو سائلة ذائبة أو في حالة غازية، ولكن أجمعت الآراء على ثقله (حيث يصل وزنه النوعي إلى 10) وشدة حرارته وقوة الضغط عليه.

وبالاستعانة بدراسة موجات الزلازل والمغناطيسية الأرضية ودراسة الشهب والنيازك أمكن استنتاج أن هذا الجزء من الكرة الأرضية يتكون أساسا من الحديد والنيكل وعلي ذلك فقد يسمي (نيفة).

وبحساب بسيط يمكن الاستدلال على الوزن النوعي لهذا الجزء من الأرض، فقد أمكن للفيزيقيين حســـاب الوزن النوعي للأرض مقدرا: بأن الأرض تزن ســـتة آلاف مليون طن تقريبا (5.98×10^{17} جرام) وحيث أن حجم الأرض 1.083×10^{27} سـم فان ثقلها النوعي = 5.52 في المتوسـط، ومن المعروف أن كثافة القشرة الأرضية تتراوح بين 2.7 – 2.9 للسيال، 2.9 – 3.4 للسيما.

كما أن كثافة الغلاف المائي تزيد بقليل عن واحد، وبعملية حسابية يتضح أن كثافة جوف الأرض كبيرة تتراوح بين 8، 11 ومتوســط هذه الكثافة أكبر بقليل من كثافة الحديد وأقل من كثافة النيكل.

دراسة الجيولوجيا الطبيعية Physical Geology

تمهيد:

من الحقائق التي لا جدال فيها أن سطح الأرض يمر دائما بعملية تغيير مستمرة. والصور أو الدلائل على هذا عديدة فمن تصور لما تحمله قطرات مياه الأمطار من أعلي إلي أسفل إلي تلك الكميات المائلة من فئات الصخور التي تقع من أعالي الجبال. بالإضافة إلي ذلك السيل الذي لا ينضب من الموارد التي تحملها الرياح في المناطق الصحراوية إلي جانب عدد لا يحصي من الأمثلة منها ما تشاهدها وتحس بها مما في حياتنا القصيرة الجل نسبة غلي هذه الأزمنة الجيولوجية أو مما يثبت لدينا من واقع الدراسة الجيولوجيا للتغيرات التي حدثت لتضاريس القشرة الأرضية وأهمها ما يعرف بنظرية تزحزح القارات.

ومن المنطق أن نبدأ حديثنا عن عملية التغير في سطح القشرة الأرضية هذه بمناقشة ما نراه الآن وما نشاهده على الطبيعة من تحركات للكثبان الرملية والتي تتراكم بفعل الرياح وتكون المصاطب النهرية أو الدلتا نتيجة لما تحمله مياه الأنهار من مواد عالقة كالغرين والطمي والزلازل بما تحدثه من هزات أرضية تؤدي إلي التكسير والتخريب والبراكين بما تحمله من باطن الأرض لتخرجه خلال فوهاتها ... .الخ.

أن ما نراه الآن هو صورة من صور عديدة بعضها طويل الأجل يمتد آلاف السنين والبعض الآخر بضع دقائق لبهو ضوء يلقي على ما حدث في الماضي

وأثر في هدم أو بناء سطح القشرة الأرضية. ولهذا فانه يمكن تقسيم العوامل المختلفة التي تؤثر في تغيير سطح القشرة الرضية إلي نوعين:

1- **عوامل خارجية:**External Processes

ويقصد بها تأثير الغلاف الجوي والمائي على القشرة الأرضية مثل الرياح والأمطار والمياه الجارية والبحار والثلاجات .... الخ.

2- **عوامل داخلية:** Internal Processes

تشمل عملية تغيير سطح القشرة الأرضية جزأين رئيسيين هما الهدم والبناء.

(1) **الهدم** : Destruction

ويشمل عمليات التفتيت و التكسير و التحلل بحيث يؤدي إلي تحول المواد الصلبة المتماسكة إلي مواد مفككة و مهشمة من السهل على عوامل النقل المعروفة نقلها من مكانها إلي مكان آخر و تسمي هذه العمليات جميعها بعملية التعرية لسطح الأرض.

(2) **البناء** : Construction

ويشمل عمليات تجميع وترسيب المواد الناتجة من عمليات الهدم والمنقولة إلي أماكن الترسيب.

وإنه لمن المدهش أن نري أن عمليات الهدم تكون في أوج نشاطها في الأماكن المرتفعة عن سطح الأرض وعلي العكس، فان عملية البناء تسعي إلي ملأ

الحفرات والمنخفضات والوصول بها إلي سطح الأرض. ومن ثم، فإن عمليات الهدم والبناء تتضافر في تسوية سطح الأرض طبيعيا.

المناخ والتعرية:

تحدث التعرية سواء مباشرة أو غير مباشرة أثرها بواسطة تأثير العوامل الجوية المختلفة. كما أن نوع وقوة تأثير هذة العملية ترتبط إلي حد كبير بالأحوال المناخية السائدة بالمنطقة.

وعوامل التعرية عديدة ومنها :

1- الجاذبية Gravity.

2- المياه Water.

3- الجليد Ice.

4- الرياح Wind.

وتعتبر الجاذبية هي العامل الوحيد الذي لا يعتمد على الأحوال المناخية بعكس الثلاث عوامل الباقية.

وعلي هذا الأساس يمكن تقسيم الاختلافات في الأحوال المناخية على سطح القشرة الأرضية الي أربعة أقسام رئيسية وهي :

أ- النطاق الاستوائي : Equatorial Zone

ويتميز هذا النطاق بخصائص عديدة منها : الحرارة الشديدة، أمطار غزيرة، نباتات وغابات كثيفة.

ب- النطاق الصحراوي :Arid Zone

ويقع النطاق الصحراوي على جانبي النطاق الاستوائي حيث يتميز بخصائص عديدة منها : الحرارة العالية مع جفاف الجو، أمطار نادرة، نباتات وغابات قليلة أو غير موجودة.

ج- النطاق المعتدل :Temperate Zone

ويتميز هذا النطاق بخصائص عديدة منها : حرارة معتدلة، أمطار متوسطة، نباتات وغابات موجودة.

د- النطاق القطبي :Arctic Zone

يقع النطاق القطبي في أقصي الشمال وأقصي الجنوب من النطاق الاستوائي حيث يتميز بالبرودة الشديدة، وقلة وجود المياه الجارية، والجو الجاف، والنباتات نادرة وكذلك الحيوانات قليلة.

وفي كل من الانطقة سالفة الذكر، فان عملية التعرية تتسم بخصائص معينة حيث تختلف هذه الأنطقه في قوة أو قدرة تأثير العوامل المختلفة بعضها نسبة لبعض.

كما يوجد نوع آخر من التعرية يعرف بالتعرية البحرية Marine Denudation والمقصود بها عمليات الهدم التي تحدث في قيعان البحار والمحيطات وهي لا تعتمد كثيرا على الأحوال المناخية إلا في المناطق القطبية والتي يزيد من تعقيد وتشابك عملياتها وجود البحار الجليدية.

طبيعة عمليات التعرية: Nature of Denudation

إن عملية التعرية ذات ثلاثة أوجه Three Fold فالوجه الأول يشمل كل ما يؤدي إلي تحول الصخور الصلبة المتماسكة إلي صخور أقل صلابة أو فتات صخور هشة إما بالتكسير أو بالتحليل حتي يسهل نقلها.

أما الوجه الثاني فهو عملية نقل المواد التي تستطيع عوامل النقل المعروفة (الرياح – المياه) نقلها من أماكن التكسير فهو عملية نقل المواد التي تستطيع عوامل النقل المعروفة (الرياح – المياه) نقلها من أماكن التكسير إلي مصاطب الترسيب.

بينما الوجه الثالث فهو مشترك مع الوجه الثاني في أنه يمثل عملية التآكل التي تصاحب عملية نقل المواد المفتتة أو المكسرة إلي أن تحدث عملية الترسيب.

وهذه الوجوه الثلاثة سالفة الذكر، والمعروفة جيولوجيا باسم :

- عملية التجوية.
- عملية النقل.
- عملية البري أو التآكل.

عملية التجوية :Weathering Processes

وهنا يمكن إدراج كل العمليات التي تؤدي بصـورة أو بأخرى إلي تكسـير وتفتت المواد الصلبة سواء النارية أو الرسوبية أو المتحولة. ثم بعد ذلك يتم أعداد هذه المواد المفتتة لعملية النقل (ثان عمليات التعرية) بواسطة عوامل النقل المختلفة.

وعملية التجوية لها طبيعة كيميائية وإن كانت تبدو في صورها العديدة ميكانيكية النشأة.

التجوية الكيميائية :Chemical Weathering

تعتبر المعادن المكونة للصـخور عبارة عن مركبات كيميائية غير عضـوية حيث يعتمد تركيبها وصـفاتها الطبيعية على ظروف تكوينها ومن ثم لا تتغير المعادن مادامت الظروف التي تكونت فيها لم تتغير، وبالتالي يطلق على هذه المعادن بأنها معادن ثابتة.

ولكن افتراض عدم تغير الظروف في الطبيعة غير قائم على الإطلاق، وعلي هذا الأساس فإن بعض المعادن تتغير لتلائم الظروف الجديدة.

وأن عملية تغير المعادن هذه يصاحبها عادة تكسير أو تحلل للمعادن، ومن ثم حدوث تغير في مكونات الصخر سواء من بين معادنه الأصلية أو ما استحدثه من مكونات جديدة أضـيفت إليه من الخارج بمعني أنه يمكن أن يحدث عملية تغير كيميائي تؤدي إلي تكوين صخور جديدة.

الفصل الثاني

مقدمة عامة في علم الأحافير

الأحافير

تتضــمن الصــخور الرســوبية بقايا عضــوية، نباتية و حيوانية، كالأصــداف و الفحم، و هذه البقايا دفنت في الرســوبيات أثناء عملية الترســيب، وحفظت فيها طيلة العديد من العصـــور الجيولوجية الماضــــية.عندما يموت الكائن الحي تتعرض أجزاؤه اللحمية الطرية للتحلل و التلاشـــي الســريع فتمحى آثارها إلا ما ندر، أما الأصـداف، أو العظام أو الخلايا الخشـبية فتؤلف الأجزاء الصـلبة من الكائن التي تقاوم التلف.

الأحافير هى أثار أو بقايا أو شـــواهد نباتا كان أو حيوانا وكان يعيش منذ آلاف أو ملايين السـنين,حفظت في الصـخور عبر العصـور الجيولوجية القديمة وتدل على الكائن الحي الذي تمثله)

وعلى ذلك فإن أي شـيء يتعلق بالكائنات العضـوية في الأزمنة الجيولوجية التي تســبق الزحف الجليدي الأخير الذي انتهى منذ حوالي (15000) ســـنة (راجع السـجل الجيولوجي) فالبقايا العضـوية المحفوظة بعد هذا الزحف الجليدي ليسـت من الأحافير، و لم تدخل سجل الأحافير

ويطلق اســـم (التجمع الحفري) على مجموعة من الأحافير المتنوعة في طبقات معينة و تشـــتمل على كميات مختلفة من الفونا" fauna " (و تعني جماعة الحيوان في مكان ما) و الفلورا "flora" (جماعة من النبات في مكان ما و في زمان ما) و يسمي التجمع الحفري باسم الاحفورة الغالبة فيه و أو باسم أحفورة مميزة فيه أما لفظ موطن أحيائي (بيوتيت حفري (fossil Biotope فيطلق

على مساحة من الصخر الرسوبي على مستوى التطبق يحتلها مجتمع رفات يمثل العشيرة الأحيائية التي كانت تحتل المساحة نفسها في أثناء الحياة تمثيلا تقريبيا و بعض هذه الأحافير قد تكون أوراق نبات أو أصداف أو هياكل، قد حُفظت بعد موت النبات أو الحيوان. وبعضها الآخر آثار ومسارات أقدام نتجت عن الحيوانات المتنقلة.

توجد معظم الأحافير في الصخور الرسوبية. تشكلت هذه الأحافير من بقايا نباتات أو حيوانات طمرت في الرسوبيات مثل الطين أو الرمل المتجمع في قاع الأنهار والبحيرات والمستنقعات والبحار. وبعد مرور آلاف السنين، فإن ثقل الطبقات العليا الضاغطة على الطبقات السفلى يحولها إلى صخور.وهناك عدد قليل من الأحافير التي تمثل نباتات أو حيوانات كاملة لإنها حُفظت في جليد أو قطران أو إفرازات الأشجار المتجمدة.يعتقد بعض العلماء أن أقدم الأحافير هي لبكتيريا مجهرية عاشت قبل نحو 5,3 بليون سنة. وُجدت مثل هذه الأحافير في جنوب إفريقيا في نوع من الصخور يسمَّى **الشَّرت** وهو نوع من المرو. كما عُثر على أحافير مماثلة لبكتيريا قديمة في أستراليا. وأقدم الأحافير الحيوانية هي بقايا **اللافقاريات**، وهي حيوانات ليس لها عمود فقري. ويُقدر عمر صخور هذه الأحافير بحوالي 700 مليون سنة. وأقدم أحافير **الفقاريات**) وهي الحيوانات ذات العمود الفقري) هي احافير للأسماك يقُدر عمر صخورها بحوالي 500 مليون سنة. والأحافير واسعة الانتشار والعثور عليها أسهل مما يعتقد الكثيرون. وتتوفر في معظم بقاع العالم. وهذا يعود لكون الصخور الرسوبية واسعة الانتشار تغطي حوالي 75 % من سطح اليابسة. ومع هذا يعتقد العلماء أن جزءًا يسيرًا من

الحيوانات والنباتات التي عاشـت على الأرض قد تم حفظها في شـكل أحافير. كما يُظن أن أنواعًا عديدة قد عاشت واختفت دون أن تترك أي أثر في السجل الأحفوري على الإطلاق. ولكن المزيد من الأنواع الأحفورية يتم اكتشافها دائمًا.

عندما تموت الكائنات التي تحيا في البحار على سـبيل المثال فان بقاياها تهبط إلى القاع حيث تتحلل أجزائها الحية ن أما هياكلها الصلبة كالأصداف والعظام والأسـنان.. الخ فأنها تدفن بين رسـوبيات التي تتكون على قاع البحر والتي تتضـاغط بعد ذلك متحولة إلى طبقات صـخرية ترتفع من قاع البحر بالحركات الأرضـية أو بانحسـار الماء عنها نتيجة لهبوط منسـوب المياه في البحار والمحيطات بصـفة عامة، فتظهر هذ الصـخور على سـطح القشـرة الارضـية وتتعرض لفعل عوامل التعرية المختلفة التي قد تظهر بقايا الحياة فيها.

كيف تتكون الأحافير

تموت معظم النباتـات والحيوانـات وتتعفن متحللـة دون أن تترك أي أثر في السجل الأحفوري. وتقوم البكتيريا وأحياء أخرى بتحليل الأنسجة الطرية كالأوراق أو اللحوم ونتيجة لذلك فإن هذه الأنسـجة نادرًا ما تترك أي سـجلات أحفورية. وحتى أكثر الأجزاء صـلابة مثل العظام والأسنان والأصداف والخشب تبلى في النهاية بوسـاطة المياه المتحركة أو تذيبها مواد كيميائية. إلا أنه عند طمر بقايا النبات والحيوان في الترسـبات فإنها قد تصـبح متأحفرة. وتحفظ هذه البقايا في الغالب دون تغيير يُذكر. ولكن معظمها يعتريه تغيير بعد الدفن، ويختفي العديد منها تمامًا، إلا أنه يترك سجلاً أحفوريًا في الراسب.

العوامل التي ساعدت على تأحفر بقايا الكائنات الحية :

1. وجود هيكل صلب للكائن الحي (عظام الحيوانات – الهيكل الكيتيني – مادة السيليلوز في النبات)

2. الدفن السريع حتى يقلل من فرصة تعرض البقايا للبكتيريا وعوامل التحلل الأخرى وأفضل الأماكن لحفظ الكائنات الحية البرية دالات الأنهار وضفافها وبرك القار القديمة وأماكن الانهيارات الجليدية وهي لا تتوفر إلا بشكل محدود بينما تتوفر ظروف الدفن السريع في البيئات البحرية لذلك فإن غالبية احافير السجل الجيولوجي المحفوظة احافير بحرية .

3. حفظ الكائنات في وسط مناسب وهو وسط لا يسمح للماء والهواء بالتسرب من خلاله حتى لا يعملان على تحلل أجسام الكائنات عند موتها ومحو أثرها.

4. حدوث تحولات كيميائية و طبيعية يتعرض لها تركيب أجزاء الكائن تزيد من قدرته على مقاومة العوامل الخارجية ولذلك فمن النادر وجود احافير بقيت محافظة على تركيبها الأصلي دون مساس به.

أما العوامل التي لا تساعد على التأحفر :

1. تعرض بقايا الكائنات الحية لعوامل التحلل لمدة طويلة (الأمطار – تغير في درجات الحرارة – عوامل التجوية الكيميائية –فعل البكتيريا).

2. دفن بقايا الكائنات الحية بعد موتها في رواســـب ذات مســـامية ونفاذية عاليتين مثل الرمال.

3. تأثر بقايا الكائنات الحية بعد موتها بعوامل التحول (الضــغط والحرارة)

4. نقل البقايا الصــلبة للكائن الحي من مكان لأخر بفعل عوامل النقل الطبيعية كالمياه و الرياح للإتلاف الميكانيكي أو الكيميائي مثل الإذابة. كل تلك العوامل تعكس ندرة تكون أحفورة مرشدة.

و لنا أن نتساءل من أي المواد تتخذ الكائنات أصدافها و عظامها و أسنانها و غير ذلك من الأجزاء الصــلبة التي يمكن أن تتأحفر من بعد موت أو هلاك ؟ و تترتب هذه المواد من حيث الوفرة على النحو التالي :-

1- **كربونات الكالســيوم :-** يعتبر الكالســيت و الأراجونايت معدنين شــائعين لهما ذات التركيب الكيميائي ولكن النظام البلوري لكل منهما مختلف عن الأخر و تتواجد جزئيات كل منهما ذائبة في مياه البحر و تســتخدمه كثرة من اللافقاريات البحرية في بناء أصــدافها و بســبب أن معدن الأراجونايت قابل للتجوية و التغير، أســرع من الكالســيت فإن احافير الحيوانية التي استخدمت الأراجونايت لا تحفظ بنفس الجودة من الكائنات التي استخدمت الكالسيت

2- **السيليكا** :- تستخدم تلك المادة بواسطة أعضاء ثلاثة مجاميع مختلفة فقط و هي :- الدياتومات(Diatoms) و الرديولاريات Radiolarians و قليل من الأسفنجيات Sponges و تعتبر السيليكا من أكثر المواد المقاومة للتحلل و التلف ومن ثم فأحافيرها جيدة الحفظ.

3- **فوسفات الكالسيوم** :- وهي المادة الأساسية التي تستخدمها الكائنات الحية مثل المرجانيات و ذوات الفصوص الثلاثة لبناء الجزء الصلب في أجسامها و كذلك تبنى الأسنان و العظام في غالبية الكائنات.

4- **المادة العضوية** :- و تتضمن المركبات العضوية المعقدة مثل السيليلوز و الكيوتين و اللجنين و غيرها من المواد التي تستخدمها النباتات و هي عادة تحفظ على شكل أغشية كربونية بما يشبه الطبعات و لا تحفظ في سجل الصخور كأحافير.واضح مما سبق أن أهم الأحافير و أحسنها حفظا ما كانت عن كائنات بحرية .

أنواع وطرق التأحفر :-

هناك العديد من الطرق التي تحفظ بها الكائنات الحية أو بقاياها نورد منها :-

أولا :- الحفظ دون تغير :- و هى تعتبر من أكثر وسـائل الحفظ شـيوعا في اللافقاريات البحرية حيث تتوفر ظروف الدفن السريع و وجود الأجزاء الصلبة، بجانب أن أصدافها هي كذلك تحفظ بدون أن يطرأ عليها تغير ملحوظ.

أما الكائنات الحية التي تعيش على اليابسة فلها ثلاثة طرق للحفظ حفظا كاملا، وإن يكن نادرا

و تلك هي :-

أ- **التصمغ** (Amberization)

هو ما يمدنا بمعلومات عن الحشـــرات و الحياتية النباتية فحين يتهرأ لحاء بعض الأشـجار و بخاصـة في بعض الصـنوبريات فإن مادة صـمغية سـميكة لزجة تنســاب في بطء خارج تلك الجروح، مثل تلك المادة تعمل كمصـيدة كبيرة للكثير من الحشـــرات و كذلك ما تحمله الرياح و البذور و تويجات الزهور و بعدها تتحول تلك المادة إلى عنبر أو كهرمان و من أفضـــلها ما أكتشـــف في منطقة البلطيق الأوربية و مثال ذلك الحشرات التي عاشت في عصر الأيوسين منذ نحو خمســين مليون ســنة حتى إنه يوجد ســجل كامل للعنكبوت الحريري محفوظ في نلك المادة و بذلك تمكن الجيولوجيين من تتبع تاريخ التطور للعديد من الحشرات.

ب- السقوط في القار :-

و هي واحدة من الطرق غير العـادية لحفظ الكـائن الحي كـاملا و حتى بدون تغير فحفر القار في كاليفورنيا مثلا توجد منذ عهد البليستوسين قد أمت الحياة

القديمة بتقرير مدهش عن الحياة في منطقة شبه جافة في العصور الجليدية و غطت الأجزاء الشمالية من القارة الأمريكية حيث ملئت الشقوق و الكسور بالنفط ز كونت ما يشبه البرك المملؤة بالقار و التي تحوي العديد من الثدييات و الحشرات و الطيور.

ت- التجمد في الجليد :-

و قد أمدتنا هذه الطريقة بجلد ولحم و شعر بل و محتويات معدة حيوان الماموث الصوفي من أسلاف الفيلة و الذي كان يعيش منذ نحو مائة ألف سنة إلى عشرة آلاف سنة في سهول سيبيريا و ألاسكا المتجمدة والغريب أن دم تلك الحيوانات الأحمر، و هو أول دم يتأحفر، أدخل إلى المعمل و أمكن تحليله كاملا.

ثانيا :- الحفظ مع التغير:- وتشمل

أ- التمعدن

ب- الإحلال " التحجر "

ت- التشكل الكاذب

ث- التفحم

ج- إعادة التبلور

ويمكن حفظ الأحافير بعدة طرق الرئيسية منها هي:

1 – تكوين الطبعات والقوالب النماذج

2- (التفحم)

3- التحجر (الاستبدال)

.4 – إعادة التبلور.

1- **تكوين الطبعات والقوالب و النماذج** :- تتكون بعض الأحافير من شكل محفوظ أو خطوط عريضة لبقايا نبات أو حيوان. كما تتكون **الطبعات** وتسمى أحيانًا الصور أو النقش، وهي منخفضات أحفورية ضحلة في الصخر، عندما تُدفن بقايا رقيقة من أجزاء من النبات أو الحيوان في راسب وتتحلَّل. وبعد تحوُّل الراسب إلى صخر، فإن ما يتبقى محفوظًا هو في الواقع معالم للنبات أو الحيوان. ويتكون العديد من الآثار من خطوط صغيرة تركتها عظام أسماك أو أوعية ذات جدار سميك كانت قد وجدت في داخل الأوراق. وفي بعض الأحيان تحفظ الأجزاء الناعمة الطرية مثل الريش أو الأوراق على شكل طبعات ومن الآثار الأحفورية وهو ما يخلفه الكائن الحي ويدل على طريقة تحركه أو تغذيته أو معيشته(الطبعات – الجحور – الثقوب والتجاويف – الفضلات المتأحفرة – الأحافير الكيميائية)يُشكِّل القالب بعد دفن الأجزاء الصلبة في الوحل أو الطين أو مواد

أخرى يمكن أن تتحول إلى صخر. وفيما بعد، تقوم المياه بإذابة الجزء الصلب المدفون تاركة وراءها قالبًا ـــ وهو منطقة مجوفة تشبه الجزء الأصلي الصلب ـــ داخل الصخر. أما المصبوب (النموذج) فيتشـــكل عندما ينزح الماء المحتوي على معادن مذابة وجســيمات أخرى دقيقة من خلال القالب، حيث يرســب الماء هذه المواد والدقائق التي تملأ القالب في نهاية الأمر مُشــكّلة نســخة من الجســم الأصــلي الصــلب. والعديد من الأصداف البحرية محفوظة على صورة قوالب أو نماذج.

و قد عثر على تشكيلات بنائية كاذبة في الطفوح البركانية، في خلجان المحيط الباســـفيكي، حيث تداخلت النباتات في الطفوح ثم طمرت فيها فاحترقت تماما تاركة بعدها فراغا(قالبا لشكلها الخارجي)، ملئ بعد ذلك بالمرو فكان أحفورة.

2- **التفحم**. تنتج عندما تترك الأنســجة المتحللة خلفها آثارًا من الكربون. وتُبنى الأنســجة الحية من مركبات الكربون وعناصــر كيميائية أخرى. وعندما تتحلل الأنســجة إلى مكوناتها الكيميائية فإن معظم هذه الكيميائيات تختفي. وفي حالة الكربنة تبقى طبقة رقيقة من غشاء كربوني بشكل الكائن. ومن خلال الكربنة تم حفظ أسماك لحمية هلامية لا هيكل صلب لها ونباتات وكائنات ذات أجسام طرية بتفاصــيل دقيقة جدًامثل الديدان. وأفضـــلها ما عثر عليه في الطفل في كندا.

3- **التحجر**.**(الإحلال)** أصــبحت نباتات وحيوانات كثيرة متأحفرة بعد أن تســربت المياه المحتوية على معادن في مســام الأجزاء الأصــلية الصــلبة. ويســمى هذا

الفعل **بالتحجُّر**.وفي العديد من هذه الأحافير فإن بعض المادة الصلبة ـــ إن لم يكن كلها ـــ قد أبقتها المعادن بل قوّتها وصلّبتها. وتسمى هذه العملية **التمعدن** والعملية الشائعة في حفظ بقايا. وقد عثر على أخشاب أحفورية من مستوى الأفرع الصغيرة إلى جذوع أشجار ضخمة في مناطق عدة من العالم. وتوجد هذه الأخشاب الأحفورية في بعض المناطق بنسب كبيرة جدًا لدرجة أنها سميت **الغابات المتحجرة** فمنطقة شمالي أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية ـــ على سبيل المثال ـــ تحوي المتنزه الوطني للغابات المتحجرة. ويُعتَقَد بأن هذا المتنزه أكبر مناطق العالم من حيث كمية الأخشاب الأحفورية الغنية بالألوان.

وفي حالات أخرى، فإن المعادن في الماء تحل كليًا محل النبات أو الحيوان الأصلي.وتسمى هذه العملية **الإحلال**، وتشمل حدثين في الوقت نفسه؛ حيث يذيب الماء المركبات المكونة للمادة الأصلية، بينما تترسب المعادن بدلاً منها. ويمكن لعملية الإحلال هذه أن تنتج نسخة مطابقة للأصل قد تشمل حتى التفاصيل المجهرية للجزء الأصلي الصلب من المادة ويسمى بالإحلال الصادق كما هو الحال في بقايا الأشجار المتحجرة التي اكتشفت في منطقة الرقة في دولة الكويت.

وفي بعض الأحيان تتم عملية الإحلال بطريقة غير منتظمة فينتج عن ذلك حفظ الهيئة الخارجية للأحفورة بينما تضيع تفاصيل بنائها الداخلي تماما وتعرف هذه العملية بعملية الإحلال الكاذب ومن أمثلتها إحلال هياكل بعض الحيوانات من معدن البيرا يت..

طريقة الترشيح وهي عبارة عن إذابة أكثر الأجزاء القابلة للذوبان مما يؤدي إلى عملية تبييض أو نخر القواقع والأصداف أو العظام المتأحفرة

عمليات أخرى يمكن للنباتات أو الحيوانات أن تتأَحْفَر أحيانًا بتغير قليل أو دون تغير؛ ففي عملية **التحنيط**، يتم حفظ جلد الحيوان وبعض الأنسجة الأخرى بالتجفيف أو بفعل مواد كيميائية. ويمكن أن تتم عملية التحنيط فيما لو دُفن الحيوان الميت في مكان جاف مثل الصحراء، أو في مادة الأسفلت، أو أي مادة زيتية.

4 – **إعادة التبلور**. و يحث ذلك عندما تتعرض مادة صلبة لظروف تؤدي إلى تغيير في التركيب البلوري ذاته و التي تؤدي لإلى طمس و إخفاء تفاصيل الكثير من الكائن الحي الذي كان و مثال ذلك تحول الحجر الجيري إلى دولوميتي.

أهمية الأحافير

لولا الأحافير لكان العالم العضوي ما قبل العصر الحديث تقريبا مجهولا كلية،و لكانت اختفت نظريات التطور أو فقدت الأدلة المادية التي تدعمها و بقيت المعلومات عن البيئات القديمة و شروطها مغلقة علينا.

لقد أدت دراسة الأحافير المحفوظة خلال السجل الجيولوجي إلى فهم العالم العضوي على أنه عالم متطور، ينسجم مع التغيرات البيئة. وأن مراحل التطور تدريجية و متلاحقة يرتبط بعضها ببعض مما ترك أثره في علاقة التتابع الطبقي بالزمن السترايجرافي و استند عليه في كتابة السجل الجيولوجي.

1- **تساعد الأحافير في إثبات نظرية التطور** : ومع أن السجل الأحفوري غير مكتمل، فإن العديد من المجموعات النباتية والحيوانية الهامة قد ترك بقايا أحفورية. وقد مَكَّنَتْ هذه الأحافير العلماء من تصور نماذج الحياة التي وُجدت في عصور زمنية مختلفة في الماضي، وكذلك معرفة كيف عاشت أنواع ما قبل التاريخ. كما تشير هذه الأحافير لكيفية تغير الحياة مع الزمن على الأرض.

تبين الأحافير أنه ما بين فترة 210 مليون سنة إلى 63مليون سنة خلت، عاشت مجموعة من الزواحف ذات إصبع واحد طويل نحيف يبرز من عند كل طرف أمامي. ولا تشبه البنية العظمية أيًّا من تلك الزواحف المعاصرة الآن. ومع ذلك، يبدو أنها تشبه أجنحة الطيور المعاصرة. وحيث إن الطيور المعاصرة تستعمل الأجنحة للطيران، فإن علماء الأحافير استنتجوا أن تلك المخلوقات المنقرضة كانت تطير. وأطلقوا عليها اسم **السحالي المجنحة**.

إن معرفة ظروف موت وانطمار الأحافير يمكن أن تبين كيف عاشت. فقد وجد علماء الأحافير أعشاشًا أحفورية لديناصورات في حداثتها. تشير هذه الأحافير إلى أن بعض أنواع الديناصورات كان يعتني بصغاره ويقوم بتغذيتها في أعشاش مهيأة، تقريبًا كما تفعل طيور اليوم.

وتقدم آثار الأقدام والممرات والمسالك، المسماة **الآثار الأحفورية**، معلومات عن سلوك حيوانات ما قبل التاريخ. فعلى سبيل المثال، توحي بعض آثار الأقدام بأن بعض أنواع الديناصورات سارت في قطعان. كما أن بعض الآثار الأحفورية تبين أن بعض الديدان المنقرضة قد عاشت فى أنفاق بسيطة محفورة في قاع البحر.

2- **تساعد احافير الحيوانات على التعرف بدقة إلى طبيعة البيئة :** التي كانت تعيش فيها تلك الحيوانات وخصوصا إلى ظروف نشوء الطبقات والصخور, فذو المصراعين الحالي مثلا (سكروبيكولاريا) يعيش غارقا في الأوحال الفقيرة ,لذلك عندما نعثر على احافير في داخل صلصال نستنتج أن الترسب قد حصل في بيئة ينقصها الأكسجين.

3- **كما تساهم في تحديد العمر لكل طبقة أو لمجموعة من الطبقات في سلسلة التكوينات الجيولوجية التي يتكون منها السلم الزمني.**

4- **ويمكننا تعرف الأحداث الجيولوجية في الأزمنة الغابرة من تقدم البحار وانحسارها مثلا عبر الزمن الجيولوجي**

5- **تتبُّع مظاهر الحياة** :يقدم السجل الأحفوري دليلاً مهمًا لتاريخ الحياة. وتشير الأحافير إلى أنه، على مدى مئات الملايين من السنين، قد حفلت الحياة على الأرض بخلايا بكتيريا بسيطة وحيدة الخلية وطحالب إلى جانب عديد من الكائنات المعقَّدة والمتنوعة. كما تشير أيضًا هذه الأحافير إلى أن بعض الأنواع قد تغيرت جذريًا وحلت محلّها أنماط حياة جديدة متأقلمة كليًا.

ويبين موقع الأحافير في طبقات صخرية رسوبية كيف ازداد تباين الكائنات الحية عبر الزمن. فكلما ترسب الراسب، حطت طبقات جديدة فوق الأقدم منها. وعند تحول الترسبات إلى حجر، فإن هذه الطبقات تبقى محفوظة حسب زمن ترسبها. وفي الطبقات التي لم يفسد ترتيبها نجد أن الأحافير في المناطق السفلية

ـــــ أي الأقدم عمرًا ـــــ أقل تعقيدًا من التي توجد في الطبقات الأصـغر عمرًا والموجودة قرب السطح.

أما الطبقات التي عمرها حوالي 600 إلى500 مليون سنة مضت فتحوي احافير لحيوانات لافقارية، شاملة الحيوانات البحرية المنقرضة المسماة **ثلاثية الفصوص**. وتظهر بقايا الأسـماك الأحفورية في طبقات عمرها نحو 400 مليون سـنة. أما بعض الطبقات العليا التي تشكلت في الفترة بين 330 – 260 مليون سنة مضت فإنها تحتوي على آثار بعض حيوانات اليابسة المبكرة مثل البرمائيات والزواحف الصغيرة.

تبين الأحافير أيضًـا كيف أن بعض المجموعات النباتية والحيوانية أصـبحت أكثر تنوعًا. فالأوراق الأحفورية وحبوب اللقاح للنباتات الزهرية الأولى ترجع إلى العصـر الطباشـيري المبكر أي قبل 138 مليون سـنة مضـت. وتسـجل هذه الأحافير عددًا قليلاً من الأنواع. أما احافير منتصف العصر الطباشيري أي قبل حوالي 90 مليون سنة، فتشمل تشكيلة واسعة من النباتات الزهرية من العديد من البيئات المختلفة.

6- **تسجيل التغيّرات في الأرض** يستخدم العلماء الأحافير في تحديد كيفية تغيّر مناخ الأرض وكذلك تضـاريسـها عبر ملايين السـنين. فقد وجدوا على سـبيل المثال، احافير بعض أشـجار النخيل الاسـتوائية في مناطق ذات مناخ **معتد** (بارد) اليوم. كما وجدوا طبقات من الفحم الحجري ـ وقود أحفوري ـ المتكون من بقايا النباتات التي انقرضت قبل ملايين السنين، في القارة القطبية الجنوبية حيث تشـكل اليوم مناطق أكثر برودة لتنمو بها هذه النباتات. وتشـير مثل هذه الأدلة

إلى أن مناخ هذه المناطق قد تغير. وقد وجد علماء الأحافير، احافير أصـداف بحرية في صـــخور بعيدة في وســط اليابســة في أيامنا هذه. وتبين مثل هذه الأحافير أن مياه البحر كانت في يوم ما منتشرة عبر هذه المناطق.

وتعطي الأحافير أدلة تدعم نظرية **الزحف القاري**، وهي الفكرة التي تنص على أن مواقع القارات قد تغيرت على مدى مئات الملايين من السنين الماضية. وقد وجد العلماء احافير لديناصورات متشابهة في كل القارات الحديثة. ونتيجة لهذا يعتقد علماء الأرض أن كل الكتلة الأرضـــية تقريبًا كانت موحدة في قارة واحدة عملاقة. ويشير هذا إلى أنه بعد حوالي 200 مليون سنة من ذلك التاريخ كانت القارة العملاقة بدورها تتجزأ أو تنفصل. وكانت القارات تبتعد ببطء إلى وضعها الحالي.

وتســاعد هذه النظرية، على ســبيل المثال، في تفســير وجود الكنغريات في أستراليا؛ وهذه الحيوانات لا تشبه أيًا من الحيوانات في بقية العالم.

7- **تعرف المناخ القديم**. تساعد الأحافير في تعرف المناخ السائد وقت ترسيبها فوجود احافير وأحياء لا تعيش إلا في المناطق الحارة كالمرجان والنخيل في طبقات صخور باردة يدل على أن المناخ السائد وقت ترسيبها كان حارا.

جمعُ الأحافير.

تختلف طرق جمع الأحافير باختلاف أنواعها فأسهلها جمعًا أحافير الأصداف والأســنان والعظام المحفوظة في الرمل الناعم أو الوحل ويمكن للعلماء أن يستخرجوا هذه الأحافير بالمالج (المسطرين) أو بالمجرفة أو باليد .أما الأحافير

المحفوظة في الصخور الصلبة فيمكن اكتشافها واستخلاصها بسهولة عندما تصبح هذه الصخور مكشوفة **بالتجوية** الطبيعية. والتجوية تشير إلى مجموعة العمليات الكيميائية والفيزيائية التي تجزِّئ الصخر على سطح الأرض وتعريه. وفي هذه الحالة نجد أن الأحافير الأكثر مقاومة لعوامل التجوية من الصخور المحيطة تصبح بارزة إلى الخارج بدرجة أكثر من أسطح الصخور المكشوفة. ومعظم هذه الأحافير يمكن جمعها بتفكيك الصخور بإزميل أو مطرقة أو بالخِلال. ويقوم العلماء بجمع الأحافير المخبأة في الصخر الصلب بكسر الصخر باستعمال المطرقة الثقيلة أو باستعمال المطرقة والأزميل وغالبًا ما تتكسر الصخور المحتوية على الأحافير على امتداد أسطح الأحافير.

أما الأحافير الهّشة فيتعين صيانتها قبل استخراجها من الصخور. ويقوم العلماء عادة بإحاطة الأجزاء المعرضة من الأحافير بطبقات من القماش المبلل بالجص الرطب. وبعد تصلبه يمكن استخراج الأحافير من الصخر ونقلها إلى المختبر حيث تتم إزالة الجص.

وفي المختبر يستعمل علماء الأحافير أدوات كهربائية للطحن وملاقط دقيقة، بل يستعملون إبرًا لإزالة أي صخر متبقٍ. أما الأحافير المحاطة بالحجر الجيري فيتم نقعها في محلول حمضي ضعيف يذيب الحجر الجيري ولا يؤثر على الأحفورة. وقد يقرر العلماء ترك الأحفورة مكشوفة بشكل لافت للنظر لكنها تظل جزئيًا مخبأة في الصخر.

التعامل مع الشظايا يتم الحصول على العديد من الأحافير في شكل شظايا لابد من تجميعها كأنها أجزاء من أحجية معقدة.

وبصـــورة عامة ففي المرة الأولى التي يعاد فيها تركيب الأحفورة بهذه الطريقة فإن الشظايا يجب أن تمثل كامل العينة. ويمكن بعدها إعادة التركيب من شظايا غير مكتملة بعد مقارنتها بالأحفورة الكاملة وتعويض الأجزاء المفقودة باسـتعمال مواد صناعية.

تحديد تاريخ الأحافير .خلال ســـنوات عديدة من البحث، تمكن علماء الأحافير من فهم الترتيب في السجل الجيولوجي لمعظم أنواع الأحافير. وعند أول اكتشاف لنوع أحفوري فالمفترض أن يوجد عادة مصاحبًا لأنواع أخرى. وإذا عرف العلماء موقع وتأريخ حياة هذه الأنواع الأخرى ســيكون بمقدورهم تحديد موقع الأجناس المكتشـفة .ويشـير هذا النوع من تحديد التأريخ فقط إلى ما إذا كانت أحفورة أقدم أو أحدث من الأخرى، ولا يعطي عمر الأحفورة بالسنين.

ويقوم علماء الأحافير بتحديد عمر الأحفورة بقياس **النظائر المشعة** في الصـخور المحتوية على الأحفورة. والنظائر المشـعة عناصـر كيميائية تتحلل أو تتلاشـى لتشكل مواد أخرى. ويعرف العلماء معدل تحلل العناصر المشعة المختلفة. ومن خلال مقارنة كمية النظير المشع في الصخور بكمية المادة المنتجة عن التحلل، يتمكن العلماء من حســاب المدة الزمنية التي اســتغرقتها عملية التحلل. وهذه الفترة الزمنية تشكل عمر الصخور والأحافير التي تحتويها.

تصنيف الأحافير :-

و كان يعتمد في البداية على التشـــابه الخارجي لربط العلاقة بين الأحافير و كان من نتيجة ذلك وضـــع احافير مختلفة الأصـــل في مجموعات واحدة، و

احافير متشابهة الأصل في مجموعات مختلفة.و عندما تأكد الأصل العضوي للأحافير نظم تصنيف الأحافير حسبما اتبع في علم الأحياء بالنسبة لتصنيف الكائنات الحية الحديثة.و أول من وضع و نظم مبادئها عالم النبات السويدي كارل لينيه (1707 -1778 م) الذي قسم التصنيف إلى سبعة مستويات (أو رتب) بحيث يمكن تدرجه في مستويات التصنيف المعروفة (مملكة/ شعبة/ طائفة/ رتبة/ فصيلة / جنس/ نوع)

و اقترح لينيه أن يتكون الاسم العلمي للكائن الحي من أسمين لاتينيين، هما الجنس و النوع و يبتدئ اسم الجنس بحرف كبير و اسم النوع بحرف صغير و يرسم تحت الاسمين خط مثل Homo sapiens أي إنسان عاقل.

الديناصورات كأهم الأحافير المكتشفة

دائماً كنا ومازلنا نسمع عن الحيوانات والكائنات المنقرضة.. لكن لو فكرنا بها حقاً وبأي نوعٍ منها يخطر ببالنا قبل أي شيء آخر.. الديناصورات.. حسناً لا يعني أنني ذكرت الأمر أنني أريد أن أقول أن تبادره إلى ذهننا وأنَّ معلوماتنا عنه خاطئة.. ولكن ما أريد قوله هو.. كم منا يعرف أنواع الديناصورات المنقرضة.. سلالاتها.. حياتها.. طبيعة معيشتها.. سبب انقراضها.. صفاتها.. أحجامها.. إلخ..

هي مجموعة متنوعة من الحيوانات البائدة، وقد كانت تعتبر لطيلة 160 مليون سنة الفقاريات المهيمنة على سطح الكرة الأرضية، وبالتحديد منذ أواخر العصر

الثلاثي (منذ حوالي 230 مليون ســـنة) حتى نهاية العصـــر الطباشـــيري (منذ حوالي 65 مليون سنة).

ولكن ما معنى كلمة "ديناصور؟

صــيغ مصــطلح ديناصــوريا (باللاتينيةDinosauria) :رسـميًا في ســنة 1842 بواسـطة عالم الإحاثة الإنجليزي، السـير ريتشـارد أوين الذي اسـتخدمه للإشـارة إلى "القبيلة أو الطبقة المميزة للزواحف السحلية" التي قد مُيزت في إنجلترا وحول العالم. اشـتق المصـطلح من الكلمات الإغريقية: "داينوس" (باليونانية: δεινός) بمعنى "عظيم"، "قوي"، أو "مذهل"، و"ســـوروس" (باليونانية: σαύρα) بمعنى "عظاءة" أو "زاحف".

بالرغم من أن الاسـم العلمي يُفسـر غالبًا بأنه إشـارة إلى أسـنان الديناصـورات ومخالبها وبقية خصـائصـها المخيفة، إلا أن أوين قصـد أن يُشـير به إلى حجم الديناصورات ومهابتها.

وتُستخدم كلمة "ديناصور" في الإنجليزية العامية أحيانًا للإشـارة إلى شـيء غير ناجح أو شخصٍ فاشل، على الرغم من سيادة الديناصـورات لمائة وستين مليون سنة، وانتشار سلالات أحفادها الطيور وتنوعها.

تُوستخدم تسمية "ديناصور" في اللغة العربية إجمالاً للإشارة إلى هذه الحيوانات، وهي لفظ محرّف لكلمة "Dinosaur" الإنجليزية، والبعض يكتبها "دينوصور" كما في اللفظ الفرنسي "Dinosaure".

تندرج الديناصـــورات تحت نطاق "الكائنات حقيقية النوى"، من ضـــمن مملكة "الحيوانات"، ومن ضـمن شـعبة "الحبليات"، تحت طائفة تسـمى "الزواحف" من ضمن طبقة "الأركوصوريات" والتي تندرج منها رتبة "الديناصورات".

وقد اندثرت معظم أنواع وفصـائل الديناصـورات خلال حدث انقراض العصـر الطباشـــيري-الثلاثي، وقد اعتقد العلماء لفترة طويلة أنها لم تخلف ورائها أي نسب، إلا أن ذلك الافتراض ثبت خطؤه، حيث اكتشف الباحثون في وقت لاحق أن الطيور هي أقرب أنسباء الديناصورات الباقية في العصر الحالي، وذلك من خلال ما ظهر من مستحثات تربط بين الصـنفين، حيث تبيّن أن جميع الطيور اليوم تتحدر من سلف مشترك تطور من الديناصورات الثيروبودية خلال العصر الجوراسي.

وكذلك، فإن معظم التصـنيفات الحديثة تضـع الطيور كمجموعة باقية من رتبة الديناصورات.

وتعتبر الديناصورات إحدى أكثر مجموعات مملكة الحيوان أشكالاً؛ فسليلتها من الطيور أكثر الفقاريات تنوعًا على وجه البســيطة، حيث يوجد منها ما يفوق 9000 نوع.

وقد اســتطاع علماء الأحياء القديمة التعرف على ما يزيد عن 500 جنس و1000 نوع مختلف من الديناصـــورات غير الطيرية، واليوم يمكن العثور على أشــكال مختلفة من الديناصــورات في جميع قارات العالم، ســواء حية ممثلة بالطيور، أو نافقة تُعرّف بواسطة مستحثاتها.

وكان عدد من الديناصورات عاشبًا وكان بعضها الآخر لاحمًا، كما أن أنواعًا منها سارت على قائمتيها الخلفيتين، فيما سارت أنواع أخرى على أربع قوائم، واستطاع بعضها أن يتنقل باستخدام الطريقتين.

كما وطوّرت العديد من الديناصورات غير الطيرية امتدادات خارجية لهيكلها العظمي شكلت لها درعًا جسديًا أو طوقًا عظميًا أو قرونًا، وقد حققت بعض الفصائل شهرة عالمية بسبب غرابة شكلها الخارجي كما يتصوره العلماء.

أما الديناصورات الطيرية فقد سيطرت على أجواء الكرة الأرضية منذ انقراض الزواحف المجنحة التي كانت تعتبر منافستها الأساسية والسبب الرئيسي الذي يكبح تطورها.

وتشتهر الديناصورات بفعل حجم بعض الأنواع الضخمة، الأمر الذي يولد فكرة لدى العامّة مفادها أن جميع هذه الحيوانات كانت عملاقة، إلا أنه في واقع الأمر فإن معظم الديناصورات كانت بحجم الإنسان أو أصغر حتى.

يُعرف أن معظم فصائل الديناصورات كانت تبني أعشاشًا لتضع فيها بيضها وتحضنه حتى الفقس.

كما وأصبحت الهياكل العظمية للديناصورات المعروضة في المتاحف حول العالم تشكل معالم جذب سياحية مهمة، منذ أن اكتُشف أول أحفور لديناصور في أوائل القرن التاسع عشر، وتحوّلت هذه الحيوانات إلى رمز من رموز الثقافة العالمية والمحلية لبعض البلدان.

وكما نعرف جميعنا فقد صُـوّرت الديناصـورات في الكثير من الروايات والأفلام السـينمائية التي حققت نجاحاً كبيرًا ونسـبة مبيعات هائلة، مثل سـلسـلة "الحديقة الجوراسـية" Jurassic Park : كذلك فإن أي اكتشـاف جديد على درجة كبيرة من الأهمية تغطيه وسائل الإعلام المختلفة وتقدمه للجمهور المهتم بهذه الأمور.

ولكن أين كان الانتشار الجغرافي لهذه الديناصورات؟

خلال فترة الحقبة الوسـطى التي عاشـت أثناءها الديناصـورات لمُدة 165 مليون عام شـــهد العالم الكثير من التغيرات على الكوكب، من أبرزها انجراف مواقع القارات وتغير المناخ اللذين أثّرا إلى حد كبير على حياة الديناصـورات وبيئاتها. لكن هذه الزواحف قطنت عموماً خلال فترة وُجودها على الأرض القارات السـبع جمعاءً بما في ذلك أنتاركتيكا وأستراليا وجميع القارات الأخرى.

ومع مطلع العصـــر الثلاثي كانت لا تغطي الأرض سـوى قارة واحدة عملاقة اسـمها بانجيا، وكان مناخ العالم آنذاك أكثر حرارة بقليل مما هو اليوم، وقد كان لربط القارات هذا أهمية بالغة في إتاحة تنقل الديناصـــورات وانتشـــارها بين القارات.

كانت أولى الديناصـــورات الحقيقية المَعروفة هيَ الإيورابتور والهيريراصـــور اللذين عثرَ على بقاياهما في الأرجنتين في طبقات العصـــر الثلاثي، ولذلك تعتبر دراســات علمي العلاقات التطورية والجغرافيا الحيوية قارة أمريكا الجنوبية مهد الديناصورات وموطن نشوئها الأول.

ونظراً إلى أن كل يابسة الأرض كانت مُتحدة آنذاك في بانجيا، فقد اتسعت مناطق انتشار هذه الزواحف بُسرعة لكي تشمل قارات أمريكا الشمالية وأفريقيا وأوروبا فضلاً عن أمريكا الجنوبية نفسها، وبالرغم من هذا فقد كانت أنواع الديناصورات لا تزال قليلة في ذلك الوقت، ولذا فكان كل نوع منها يَشغل مساحة جغرافية واسعة نسبياً. ويَجعل انتشار الديناصورات الثلاثية الواسع هذا من دراستها وتتبع تنوعها وانتشارها أمراً صعباً.

ومع مجيء العصر الجوراسي المبكر (200 – 170 مليون سنة خلت) كانت لا تزال قارة بانجيا مُترابطة إلى حد ما، وظلت روابط اليابسة قائمة بين كافة القارات السبع، ولذلك احتفظت الديناصورات والفقاريات الأرضية الأخرى بمُعدل توطنها الفريد الذي كان مُنخفضاً بشكل غير اعتيادي مع اتصال العالم ببعضه. وخلال هذه الفترة (العصر الجوراسي) بدأت الديناصورات تهيمن وتفرض سيطرتها الحقيقية على أشكال الحياة الأرضية، وكذلك زادت أكثر من انتشارها الجغرافي عبر العالم.

وخلال هذا العصر قبل 180 مليون سنة تقريباً بدأت قارة بانجيا بالتفكك، مما سبب الكثير من التغيرات الجغرافية والمناخية على الكوكب. فخلال تلك الفترة بدأ جليد القطبين بالذوبان وأخذ مستوى البحر بالارتفاع وبغمر مساحات ضخمة من أراضي الكوكب، وقد زاد هذا بدوره من مُستوى الرطوبة ومن ثم الأمطار، فأصبح المُناخ أكثر اعتدالاً بينما نمت غابات غنية بأشكال الحياة المُتنوعة، وساعدت هذه الظروف البيئية الديناصورات على زيادة أعدادها وهيمنتها.

كما أخذت القارات بالتفكك والانعزال عن بعضــها ســريعاً في هذا الوقت، ففي العصــر الجوراســي المتأخر انجرفت أمريكا الشــمالية شـمالاً مُنفصـلة بذلك عن أمريكا الجنوبية، وبذلك شـكلت أمريكا الشـمالية جنباً إلى جنب مع أوروبا جزءاً من قارة لوراســيا، بينما ظلت الجنوبية مُتحدة مع أنتاركتيكا وشــبه القارة الهندية وأســتراليا مُشــكلين غوندوانا قبل أن تتجرف أســتراليا بعيداً مُبتدئة بذلك انعزالها الطويل المُستمر إلى يومنا هذا.

ومع هذا التفكك الســـريع وانعزال أجزاء العالم عن بعضـــها البعض بدأت الديناصـــورات تخســـر قدرتها على التنقل بين القارات، وبدأت معدلات التوطن عند أنواعها بالارتفاع، بينما أخذت ديناصـــورات كل قارة تتطور وحدها مُنعزلة عن ديناصورات القارات الأخرى.

لا يُوجد أي دليل صـــريح حتى الآن على حدوث ارتفاع شـــديد في الحرارة أو تغير ذو قيمة في المناخ خلال العصـر الطباشـيري، وهو آخر عصـور الحقبة الوسطى التي عاشت خلالها الديناصورات. أما بالنسبة للقارات فقد ابتعدت عن بعضــها البعض كما لم تبتعد قبلاً ســوى مرات قليلة في تاريخ الأرض كله، فقد كـانـت أنـحـاء الـعـالم مَعزولـة عن بعضـــهـا كثيراً وأخـذ مُعدل التوطن عـنـد الديناصورات بالارتفاع طوال العصر الطباشيري المتأخر.

وخلال هذا العصر قسمت العالم العديد من البحار الضحلة هنا وهناك، ففصل بين غرب أمريكا وشرقها بحر ضحل، وقد كان يَتصل غربها قبل ذلك مع آسيا عبر جســر يابســة قبل أن يَفصــل بين نصــفي القارة هذا البحر فيُصــبح غربها

جزيرة معزولة بينما يتحد شـــرقها مع أوروبا وغرينلاند، أما بقية أراضـــي العالم الجنوبية فقد تابعت الانجراف مُبتعدة عن بعضها.

وكنتيجة لهذا فقد اختلفت أنواع الديناصـــورات بين القارات، فسـادت بشـكل عام خلال هذه الفترة في نصـــف الأرض الجنوبي مجموعات الديناصـــورات القديمة التي لطالما قطنته، مثل الصـــوروبودات والأورنيثوبودات في النصـف الشـمالي أنواع جديدة تماماً مثل الســـيراتوبيات والهادروصـــــوريات. وقد ازداد تنوع الديناصـــورات إلى حد كبير وملحوظ خلال هذا العصـــر، بينما تقلصـــت نســـبياً المســـاحة الجغرافية التي يَتوزع عليها كل نوع مع ازدياد هذا التنوع. واســـتمرت الديناصورات على هذه الوتيرة خلال العصر الطباشيري وتنوعها يَزداد مع ازدياد توطنها قبل أن تنقرض تماماً في نهاية ذلك العصـــر ضـــمن انقراض العصـــر الطباشيري–الثلاثي.

أما بالنســـبة للبيئات التي قطنتها الديناصـــورات خلال فترة وُجودها على الأرض بعيداً عن انتشارها الجغرافي فتحديدها أصـعب قليلاً. فبشكل عام، من الصـعب جداً تخمين طبيعة البيئات التي كانت مَوجودة الماضـــي باســـتخدام معلومات الأحافير والصـخور التي تكون مُتوافرة عادة. والسبب وراء هذا أنه لا يُعثر سوى على القليل من أحافير الحيوانات أو النباتات التي عاصـرت وُجود ديناصـور ما (في حال عثرَ عليها أسـاسـاً)، علماً بأن دراسـة النباتات القديمة بالإضـافة إلى دراســـة النظائر الجيوكيميائية التي يُمكن من خلالها تحديد الحرارة في تلك العُصور هما الوسيلتان الأساسيتان لمعرفة طبيعة البيئات القديمة (بينما لا تخدم عظام الديناصـــور ســوى في معرفة موقع موته)، وحتى في الحالات التي يُعثر

فيها على بقايا تلك النباتات فإن تحديد ما بدت عليه البيئة التي قطنها الديناصور وما كانت معالمها وتضاريسها هو أمر بالغ الصعوبة، مما يَدفع مُعظم الإحاثيين إلى عدم التطرق لهذا الأمر وترك دراسته.

كل ماذكرته كان بشكل عام، ولكن دعونا نتطرق قليلاً للوصف المعاصر للديناصورات...

فوفقًا لتصنيف النشوء، فإن الديناصورات تُعرف عادة بأنها المجموعة التي تحتوي على "العظاءات ثلاثية القرون، الطيور المعاصرة، بالإضافة إلى أقرب أسلافها، وكل المتحدرين منها".

وقد اقترح البعض بأن الديناصورات ينبغي أن تُعرف وفق درجة قرابتها لأقرب سلفٍ مشترك للديناصور العظيم ميغالوصور والديناصور ذي سن الإغوانة إغواندون، بما أن هذين نوعان من ثلاثة نص عليها ريتشارد أوين عندما عرّف الديناصورات لأول مرة.

ينتج عن التعريفين نفس مجموعة الحيوانات المعرفة بكونها ديناصورات، ومن ضمنها: الثيروبودات، أو اللواحم ذات القائمتين؛ شبيهات طويلات الأعناق أو الصوروبودات، وهي عواشب رباعية القوائم؛ العظاءات المنصهرة أو الأنكيلوصوريات، وهي آكلة للعواشب، مدرعة رباعية القوائم (تشبه التمساح) ؛ العظاءات المغطاة أو الستغوصوريات، وهي عواشب رباعية القوائم ذات صفائح عظمية على ظهرها؛ العظاءات القرناء أو السيراتوبسيات، وهي عواشب رباعية القوائم ذات قرون وأهداب، والعظاءات طيريّة الورك أو الأورنيثوبودات، وهي

عواشب ثنائية أو رباعية القوائم من ضمنها "بطية المنقار". كُتبت هذه التعريفات لتستجيب للمفاهيم العلمية حول الديناصورات التي تسبق الاستخدام الحديث للتطور العرقي. ويُقصد باستمرارية المعنى منع أي التباس بشأن معنى المصطلح "ديناصور".

كما وهناك شبه إجماع عالمي بين علماء الإحاثة على كون الطيور سليلة الديناصورات الثيرابودية في العصر الحاضر. وباستخدام تعريف علم الأفرع المحدد الذي يوجب تضمين كل سلالات سلفٍ واحد شائع في مجموعة واحدة لجعل هذه المجموعة طبيعية، فإن الطيور تعتبر ديناصورات، وبناءً على ذلك فإن "رتبة" الديناصورات غير منقرضة. تصنف الطيور بواسطة معظم علماء الإحاثة على أنها تنتمي إلى مجموعة "ذات الأيادي السالبة" الفرعية (باللاتينية: Maniraptora؛ نقحرة: مانيرابتورا)، التي تنتمي بدورها إلى مجموعة العظاءات الحلقية أو الكويلوروصوريات (باللاتينية: Coelurosauria)، التي تنتمي إلى مجموعة الثيرابودات، التي تنتمي إلى مجموعة العظاءات مفصلية الورك أو الصوريسكيات (باللاتينيةSaurischia: التي تنتمي إلى أصنوفة الديناصورات.

ومن وجهة نظر علم الأفرع، فإن الطيور تعتبر ديناصورات، على الرغم من أن كلمة "ديناصور" في الخطاب الاعتيادي لا تتضمن الطيور بل يُقصد بها تلك الزواحف البائدة. كذلك، فإنه من الصحيح تقنيًا الإشارة إلى الديناصورات بوصفها مجموعة مميزة تحت نظام تصنيف لينيوس الأقدم، الذي يقبل التصنيف شبه العرقي الذي يستثني بعض السلالات المتحدرة من سلفٍ واحد مشترك.

فإن الديناصورات (وليس من ضمنها الطيور) يُمكن أن توصف بأنها زواحف أركوصورية أرضية بأطرافٍ تنتصب تحت الجسم وُجدت مُنذ العصر الثلاثي المتأخر (حيث ظهر في الطبعات الصخرية) حتى العصر الطباشيري المتأخر (الذي انقرض في نهايته).

تعتبر كثيرٌ من الحيوانات قبل التاريخية ديناصوراتٍ في التصور الشعبية، ومثالٌ على ذلك الإكثيوصورات، الموساصورات، البليسيوصورات، البتيروصورات، والديميترودون، لكن هذه الحيوانات لا تُصنف علمياً على أنها ديناصورات. الزواحف المائية كالإكثيوصورات والموساصورات والبليسيوصورات لم تكن مخلوقاتٍ أرضية أو أركوصورات، وكانت البتيروصورات أركوصورات لكنها لم تكن أرضية، بينما كان الديميترودون حيواناً برمياً أقرب إلى الثدييات.

كانت الديناصورات الفقاريات المهيمنة على النظام الأرضي في الحقبة الوسطى، خصوصاً خلال العصر الجوراسي والطباشيري.

كانت مجموعات الحيوانات الأخرى خلال هذه الحقبة مقيدة من حيث الحجم والبيئة الملائمة، وعلى سبيل المثال، فنادراً ما تجاوزت الثدييات حجم قطة، وكانت غالباً لواحم بحجم القوارض تتغذى على فرائس صغيرة.

يُستثنى من هذه الحالة الرينومام العملاق: ترايكونودونت يزن ما بين 12 إلى 14 كيلوغراماً عُرف بأكله الديناصورات الصغيرة مثل السيتكوصورات الصغيرة.

وقد كانت الديناصورات مجموعة حيوانية شديدة التنوع، ووفقاً لدراسة أجريت في 2006 فإن خمسمائة (500) نوعٍ من الديناصورات قد عُرِفَ بدرجة كبيرة من

التأكد حتى الآن، ويُقدر عدد الأنواع المحفوظات في السـجلات الأحفورية بحوالي ألف وثمانمائة وخمسين (1850) نوعاً، يبقى حوالي 75% منها بانتظار أن تُكتشف.

وتنبأت دراسة سابقة بوجود ثلاثة آلافٍ وأربعمائة (3400) نوعٍ من الديناصورات، بينها مجموعة كبيرة لم تُحفظ في سجلات أحفورية.

واعتباراً من 17 سـبتمبر 2008 سُـمي ألف وأربعة وسـبعون (1074) نوعاً من الديناصورات.

بعض هذه الديناصـورات عاشـب وبعضـها الآخر لاحم، كما أن بعضـها ثنائي القدم، وبعضها رباعي القدم، وبعضٌ ثالث كالأموصور والإغواندون كان يمشي على قدمين وعلى أربع أقدامٍ بسـهولة. كان لبعضـها درع عظمي، أو تعديلات جمجمية كالقرون. وبالرغم من أنها تعرف بحجمها الهائل، فإن كثيراً من الديناصورات كانت بحجم الإنسان أو أصغر. وُجدت بقايا الديناصورات في كُل القارات الأرضية، بما فيها القارة القطبية.

كما ولا تُعرف ديناصـورات عاشـت في بيئة مائية أو هوائية برغم أن الثيرابودات المريشة يُمكن أن تكون طائرة.

أما عن الخصـائص المميزة فبالرغم من أن الاكتشـافات الحديثة صـعبت تقديم قائمة متفق عليها بخصـائص الديناصـورات المظهرية المميزة، إلا أن كل الديناصـورات المكتشـفة حتى الآن تتشـاطر تحوراتٍ معينة طرأت على هيكل الأركوصورات العظمي الأصلي.

ومع أن بعض مجموعات الديناصـورات اللاحقة احتوت تحوراتٍ إضـافية، فإن التحورات الأسـاسـية تعتبر نمطية في الديناصـورات، حيث احتوت عليها الديناصورات المبكرة ونقلتها إلى كل المتحدرين منها.

كما وأنَّ صفات الديناصورات المشتركة تتضمن عرفاً مستطيلاً على العضد أو عظم الذراع العلوي لتحمل عضـلات الكتف والسـاعد، بالإضـافة إلى رف في مؤخرة عظم الورك، وحافة عريضـة منخفضـة قرب المؤخرة، وعظام كاحل مدعمة لتحمل الأطراف السفلية.

تحدثت للآن بشكلٍ عام عن الديناصورات وبالتأكيد لم نفهم ما المختلف في كل نوع وما شـكل وصـفات كل ديناصـور مختلف، دعونا الآن نتحدث عن كل الأنواع ونقرأ باستمتاع...

فلنبدأ بهم بالترتيب:

1- الألوصور Allosaurus: يعد من أضـخم الديناصورات أكلة اللحوم، التي ظهرت على وجه كوكب الأرض. وقد عاش منذ نحو 145 مليون عام، واكتشفت هياكله العظمية المتحجرة في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا وأفريقيا وأستراليا.

ويتميز هذا الديناصور برأسه الجبار الذي وصل طوله إلى نحو المتر، وبروزين من العظام على جانبي عينيه، وآخرين أصـغر فوق أنفه وعلى قمة رأسـه، كما كانت أصـابع يديه الصـغيرتين، تنتهي بمخالب حادة يبلغ طول كل منها نحو 15 سنتيمتر. كان الألوصور يسير على قدميه القويتين العضليتين، وبلغ طول

جســـمه نحو 12 مترا وارتفاعه حوالي خمســـة أمتار ووصـــل وزنه إلى طن ونصف.

أما جمجمة الألوصور فقد كانت عبارة عن دعامات من العظام وبروزات صلبة فوق الرأس، وقد بلغ طولها نحو مترين ونصـــف، ولكنها كانت خفيفة الوزن بسـبب وجود العديد من الفتحات بين عظامها. وكان يمكن لهذا الديناصـور أن يفتح فكيه القويتين إلى اتســـاع كبير، لوجود أنســـجة مرنة في نهايتيهما، حتى يتمكن من قضم وابتلاع أضخم كمية من اللحوم. وكان الألوصـور يعيش داخل قطيع وليس منفردا.

2- باروصور Barosaurus: يعني اسمه "السحلية الضخمة"، وهو ديناصور آكل النباتات عاش في أواخر العصـر الجوراسـي منذ حوالي 150 مليون سـنة, يبلغ طول هذا الديناصـــور حوالي 20 متر, ويبلغ ارتفاعه 6 أمتار ويزن حوالي 10 أطنان. يتميز هذا الديناصـــور أنه يمتلك أطول رقبة (8 أمتار تقريبا) التي كانت تحميه من أي هجوم يتعرض له, فلم يكن أحد الديناصـــورات قادرا على إلحاق الأذى به بسـبب رقبته الطويله التي كان يسـتطيع تحريكها بحرية للدفاع عن نفسه. عاش هذا الديناصور في أفريقيا وغرب الولايات المتحدة الأمريكية.

3- بتيرانودون Pteranodon :هو ديناصـــور طائر من فئة بتيروصـــوريا، عاش في أواخر العصـــر الطباشـيري منذ حوالي 89 مليون ســنة. يتميز هذا الديناصـــور بوجود مايشـبه المطرقة بمؤخرة رأســه، وجناحيه الذي يبلغ طولهما عند نشـرهما حوالي 9 أمتار. يقضـي البتيرانودون الكثير من وقته فوق المحيط (الأماكن السـاحلية) للبحث عن الأســماك التي كان يتغذى عليها بفمه الطويل

والذي لا أســنان فيه. يبلغ طول جســمه 10 أمتار وكان وزنه من 20 إلى 25 باوند.

4- تريســراتبسTriceratops:يعني اســمه ثلاثي القرون، وهو ديناصــور يعيش في الغابات ويتغذى على النباتات. عاش منذ نحو 68 مليون ســنة في العصـر الطباشـيري، وسـمي بذلك لوجود ثلاثة قرون تبرز من رأسـه، أحدهما قصــير ويوجد عند أنفه أما الآخران فطويلان ويقعان أعلى عينيه، ويبلغ طول كل منهما حوالي متر، وكذلك كان يوجد طوق ضــخم وعريض من العظام المكسـوة بالجلد السـميك خلف رأسـه، بالإضـافة إلى مايشـبه منقار كبير لببغاء فوق فمـه. كـان يبلغ حوالي 9 أمتـار (30 قـدمـا)، ويزن حوالي 5.400 كغ (12،000 رطلا). وقد وجدت الهياكل العظمية المتحجرة لهذا الديناصــور في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا.

5- التيرانوصور:(Tyrannosaurus) وتختصر T.rex, وهو ديناصور ضخم من أقوى وأشـرس الديناصـورات الآكلة للحوم, عاش منذ ما يقارب من خمسـة وسـبعين مليون سـنة, في الغابات القريبة من الأنهار وفي المناطق السـاحلية الرطبة, خاصـة المسـتنقعات. وكان له فكان غاية في القوة تحيط بها عضـلات بالغة الشدة, ويبلغ طول كل فك أكثر من متر.

كما كانت له من خمسين إلى ستين سنا سميكة ومخروطية الشكل وحادة. قادرة على طحن عظام الفرائس. وكان يصل طول السن الواحدة إلى أكثر من ثلاثين سـنتيمتر. وكان يمكن للتيرانوصـور أن يلتهم 230 كيلوجراما من اللحوم والعظام في قضمة واحدة.

اكتشفت جثث متحجرة لهذا الديناصور, واتضح أن جلده السميك يشبه جلد التمساح. كما وجدت هياكل عظمية متحجرة للتيرانوصور في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وكذلك في منغوليا (آسيا). وكان طول هذا الديناصور نحو 12 متر وارتفاعه ستة أمتار, أما ذراعاه فكانتا صغيرتين لا يزيد طول الواحدة منهما عن متر, ووصل وزنه إلى سبعة أطنان.

كان التيرانوصور يتغذى على الديناصورات الكبيرة مثل التريسراتبس, التي كان يطاردها بسرعة تبلغ حوالي خمسة وثلاثين كيلومترا في الساعة, ويتغلب عليها بواسطة مخالبه وأسنانه الرهيبة.

6- الثيروبودوات Theropods : (قدم الوحش) مجموعة من الديناصورات السوريشية ثنائية القدم. وبالرغم من أن معظمها ديناصورات لاحمة، إلا أن عدداً من عائلات الثيروبودات صارت عاشبة خلال العصر الطباشيري. ظهرت الثيرابودات للمرة الأولى في أواخر العصر الثلاثي قبل حوالي مائتين وعشرين (220) مليون سنة، وكانت اللواحم الأرضية الوحيدة منذ أوائل العصر الجوراسي وحتى ختام العصر الطباشيري قبل خمسة وستين (65) مليون سنة. تُمثل الطيور اليوم السلالات المتحدرة من الثيروبودات، والتي تطورت منذ نهاية العصر الجوراسي من ديناصورات الكويلورصورات الصغيرة.

7- ديبلودوكس Diplodocus :هو ديناصور ضخم آكل النباتات عاش في العصر الجوراسي في أمريكا الشمالية منذ حوالي 150 مليون سنة, يبلغ طوله 26 متر, ووزنه 10000 كجم

8- دينونيتشــوسDeinonychus: هو ديناصــور من أكلة اللحوم، عاش في بداية العصــر الطباشيري منذ حوالي 121 مليون ســنة في شــمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية، يبلغ طول هذا الديناصور حوالي 3 أمتار، ويبلغ ارتفاعه 1.2 متر، ويزن حوالي 50 كيلوجرام. يتميز هذا الديناصـــور بأن له مخلب متعلق موجود في كلتا قدميه، وقد اســتخدم هذا المخلب لطعن وتمزيق لحوم ضــحاياه من الديناصورات مثل التينونتوصور والبسيتاكوصور.

9- ســبينوصــورك Spinosaurus: اســمه يعني "الســحلية الشــائكة" هو ديناصــور ضــخم من أكلة اللحوم ذو فك قوي وأسنان حادة ضــخمة يقتات على الديناصــورات والأســماك الكبيرة. يصــل طوله إلى 18 متر ويزن 4 أطنان. كان يوجد تسلسل من الأشواك العظمية على ظهره يصل طولها إلى 6 أقدام أي ما يعادل 1.8 متر مرتبة على شــكل شــراع, وهذا الترتيب الشــراعي يســاعده على تنظيم درجة حرارة جســمه أو لإخافة الأعداء. عاش في الصـــحراء الكبرى منذ حوالي 95 مليون ســنة في العصــر الطباشــيري. وقد اكتشــفت أول عظام لهذا الديناصور في مصر عام 1912. ثم اكتشفت عظامه في المغرب إلا أن أعداده كانت محدودة وغير كاملة. ظهر هذا الديناصور في السينما في فيلم جوراسيك بارك 3.

10- ســتيغوصــور "ســتيقوســوريس" (Stegosaurus): هو ديناصــور آكل النباتات عاش منذ حوالي 145 إلى 155 مليون ســـنة في أمريكا الشـــمالية في العصــر الجوراســي, يبلغ طوله حوالي 8 إلى 16 متر ويزن حوالي 4 - 7 طن, يتميز هذا الديناصــور بأن له رأس صـــغير, وله حراشــف فوق ظهره وفي آخر

ذيله أشواك تشبه الرماح ويمثل هذا درعا بالنسبة له خصوصا أنه عاش مع ديناصورات من أكلة اللحوم مثل الألوصور والكيراتوصور.

11- كاركارودونتوسوريس Carcharodontosaurus: هو ديناصور عملاق من أكلة اللحوم عاش في العصر الطباشيري منذ حوالي 93 مليون سنة. وكان يبلغ حوالي 12 متر ويبلغ وزنه حوالي أربعة أطنان. عثر على هيكل عظمي لهذا الديناصور في شمال أفريقيا. اسمه يعني ""القرش الأبيض الضخم السحالي".

12- كارنوتوريس Carnotaurus: هو ديناصور من أكلة اللحوم، عاش في العصر الطباشيري في أمريكا الجنوبية منذ حوالي 105 مليون سنة. يبلغ طوله 7.5 متر ويزن حوالي طن واحد. يتميز هذا الديناصور بوجود قرنين صغيرين فوق عينيه كان يستعملها في القتال، ويتميز أيضا بيديه الصغيرتين التي تعد الأصغر بين جميع الديناصورات الآكلة لللحوم. ويسمى هذا الديناصور بالثور اللاحم.

13- كامراسوريس Camarasaurus: هو ديناصور آكل النباتات عاش في العصر الجوراسي في غرب الولايات المتحة الأميريكية وشمال غرب المكسيك منذ حوالي 155 مليون سنة, يبلغ طوله 18 متر ويزن حوالي 18 طن, يتميز هذا الديناصور أن له رقبة طويلة وذيل قصير نسبيا, ورأس كبير جدا كما أن له أسنان كبيرة, وقد لقب هذا الديناصور بـ"السحليه ذات الرقبه المحفورة" بسبب الفراغات المجوفة في فقرات رقبته.

وهناك أربعة أنواع من الكامراسوريس:

- ✓ C. grandis
- ✓ C. lentus
- ✓ C. lewisi
- ✓ C. supremus

14- كويلوفيسس(Coelophysis) : هو ديناصور صغير سريع الجري من أكلة اللحوم عاش منذ حوالي 215 مليون سنة في منتصف العصر الترياسي. أحد أجداده كان ديناصور ضخم يسمى " Dilophosaurus

التطور

ارتبط تطور الديناصورات بعد نهاية العصر الثلاثي بتطور النباتات وبزحل القارّات، ففي أواخر ذاك العصر وعند بداية العصر الجوراسي، كانت جميع قارّات العالم متصلة ببعضها البعض وتُشكل قارة عظمى تُعرف باسم قارة "بانجيا"، وكانت جمهرة الديناصورات مكونة بمعظمها من اللواحم الحلقية وطويلات العنق الأولية العاشبة،كذلك سيطرت على الأرض غابات من الأشجار عارية البذور، وبشكل خاص الصنوبريات، التي شكلت غذاءً بارزًا للعواشب. افتقدت طويلات العنق الأولية إلى الآليات المعقدة اللازمة في الفم لمعالجة أوراق الصنوبريات الإبريّة، لذا كانت تبتلعه كاملاً، ويُحتمل أن تكون قد امتلكت بعض الخاصيّات الأخرى في قناتها الهضميّة لتجزئة الطعام وتكسيره إلى العناصر الغذائية اللازمة لبقائها. استمرت الديناصورات متجانسة ومتماثلة طيلة أواسط وحتى أواخر العصر الجوراسي، حيث كانت المفترسات من

السيراتوصوريات والسبينوصوريات والكارنوصوريات تنتشر في مختلف المناطق، إلى جانب عواشب ضخمة ممثلة بالديناصورات المغطاة أو الستيغوصوريات وطويلات العنق أو الصوروبوديات. ومن الأماكن التي تُظهر هذا التجانس في أنواع وأجناس ديناصوراتها على الرغم من بعدها عن بعضها حاليًا: تكوين موريسون في ولاية كولورادو في الولايات المتحدة، وتكوين تنداجورو في تنزانيا. وحدها ديناصورات الصين من تلك الحقبة تُظهر اختلافًا عن باقي الديناصورات التي عاصرتها، حيث كان منها لواحم ثيروبوديّة متخصصة في أنواع معينة فقط من الطرائد، وطويلات عنق لا نمطيّة مثل ديناصور مامنتشي مامنتشيصور. أخذت الديناصورات المنصهرة، أو الأنكيلوصوريات، تصبح أكثر شيوعًا خلال أواخر العصر الجوارسي، وكذلك الحال بالنسبة للديناصورات طيرية الورك، وبحلول ذلك الوقت كانت طويلات العنق الأوليّة قد انقرضت، وأصبحت الصنوبريات والسراخس أكثر النباتات انتشارًا. كانت طويلات العنق غير قادرة على معالجة الطعام في فمها كما كان حال أسلافها، إلا أن الديناصورات طيرية الورك كانت قد طوّرت مقدرةً على تقطيع الطعام ومضغه في فمها قبل أن تبتلعه، وذلك عن طريق ظهور أفكاك متحركة لها،لكن لعلّ أبرز حدث تطوريّ وقع خلال العصر الجوراسي هو ظهور الطيور الحقيقية، التي تطورت من اللواحم الحلقية.

أخذت الديناصورات تتفرع لأشكال أكثر تنوعًا خلال أوائل العصر الطباشيري بسبب تفكك قارة بانجيا وانعزال المزيد من الجمهرات عن مثيلتها. كانت الديناصورات المنصهرة إلى جانب ذوات الأسنان الإغوانية والديناصورات

الذراعية أو البراكيوصوريات، هي أول المجموعات التي انتشرت خلال فجر هذا العهد وتوزعت في مختلف أنحاء أوروبا وأمريكا الشـمالية وشـمال أفريقيا، وفي وقت لاحق استبلدت اللواحم الجوارسية الأفريقية بلواحم أوائل العصر الطباشيري العملاقة، مثل السـبينوصـور والكاركارادونتوصـور، وورثت أجناس جديدة من طويلات العنق مواطن الصـوروبودات الجوارسـية، ومن هـذه الأجنـاس: الريباكيصور والتياتانوصور، التي عاشت في أمريكا الجنوبية إلى جانب أفريقيا. ظهرت في آسيا خلال هذه الفترة فصائل وفيالق جديدة من اللواحم الحلقية، لعلّ أبرزها هو الديناصـورات السـريعة أو الدروميوصـوريات، المعروفة أكثر باسـم "الكواسـر"، كذلك ظهرت الترودونيات وكواسـر البيض أو الأوڤيرابتورات، وأصـبحت هذه مجتمعةً تُشـكل مجموعة اللواحم الأسـاسـية. أيضًـا انتشـرت الأنكيلوصـوريات وبرزت ذوات قرون بدائية مثل الديناصـور الببغائي سـيتكوصـور، وأصـبحت إحدى أبرز العواشـب. تُظهر المسـتحاثات أن الديناصـورات المغطاة اختفت من على وجه الأرض خلال أواخر الدور الأول من العصـر الطباشـيري أو خلال أوائل الدور الأخير منه، كذلك يتبين أن النباتات المزهرة كانت قد نشـأت وبدأت بالانتشـار على نطاق شـديد الضـيق. طوّرت فصـائل عديدة من الديناصـورات وسـائل مختلفة لمعالجة الطعام قبل ابتلاعه خلال أوائل العصر الطباشيري، فذوات القرون مثلاً طوّرت المقدرة على تقطيع النباتات بأسنانها المكدسة في صفوف، وطوّرت ذوات الأسنان الإغوانية المقدرة على طحن النبات بأسـنانها، وتفوّقت في هذا المجال بطيّة المنقار. ظهرت لدى بعض طويلات العنق صـفوف من الأسـنان خلال هذا العصـر أيضًا، ومن أبرز الأمثلة على ذلك ديناصور النيجير نيجيرصور.

سيطرت 3 فصائل كبرى من الديناصورات على مناطق مختلفة من العالم خلال أواخر العصر الطباشيري، ففي قارة "لوراسيا"، التي تكونت من أمريكا الشمالية وآسيا، كانت الديناصورات الطغاة أو التيرانوصوريات بالإضافة لعدّة أنواع من الكواسر ذات الأيادي السالبة هي الضواري الثيروبوديّة السائدة، وعاشت إلى جانبها مجموعة كبيرة من العواشب طيرية الحوض تمثلت ببطيّة المنقار وذوات القرون والديناصورات المنصهرة وسميكة الرأس. أما في القارة الجنوبية أو قارة "غندوانا" فكانت الديناصورات الأبيليّة أو الأبيليصورات هي الثيروبودات المهيمنة، وكانت التيتانوصوريات هي أكثر العواشب انتشارًا. كذلك عاشت الدروميوصوريات إلى جانب فصائل مختلفة من ذوات الأسنان الإغوانية والأنكيلوصوريات والتيتانوصوريات في أماكن مختلفة من أوروبا. كانت النباتات المزهرة قد أصبحت واسعة الانتشار بحلول هذه الفترة من الزمن، وأخذت الأعشاب البدائية بالظهور في نهاية العصر الطباشيري،وكنتيجة لهذا التنوع في الغطاء النباتي، ازدهرت بطيّة المنقار وذوات القرون وظهرت منها أنواع مختلفة في جميع أنحاء أمريكا الشمالية وآسيا، وبطبيعة الحال ظهرت أنواع جديدة من اللواحم الثيروبوديّة لتغتنم هذا التنوع في الطرائد، وإلى جانبها ظهرت ديناصورات قارتة فريدة من نوعها، مثل الديناصورات البليدة والديناصورات النعاميّة المعروفة أيضًا باسم "الديناصورات محاكية الطيور" .

اندثرت الديناصورات من على وجه الأرض بعد وقوع حدث انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي، منذ حوالي 65 مليون سنة في نهاية العصر الطباشيري، ولم ينج منها أي نوع أو أصنوفة سوى الطيور. كذلك نجت بعض الزواحف

الأخرى ذات الجماجم القنطريّة، مثل التمساحيات، السحالي، الأفاعي، السحالي شبيهة الزواحف، وشبيهات الغريال.

الإنقراض

اظهرت دراسة اعدها علماء جيولوجيا اميركيون ان انقراض الديناصورات وانواع حية اخرى قبل 66 مليون عام لم يكن فقط بســـبب ارتطام نيزك كبير بكوكب الارض، بل ايضا بسبب الانبعاثات البركانية التي تلت ذلك.

فقد تبين من خلال دراسات جديدة للنشاط البركاني في ما يشكل اليوم الهند ان ارتفاعا كبيرا في النشاط البركاني حصل في هضبة ديكان في الاعوام الخمسين الفا التي تلت ارتطام النيزك.

ومنذ 35 عاما، كان جمهور العلماء يميلون الى مقولة ان انقراض الديناصورات وانواع حية اخرى في نهاية ما يعرف بالعصــر الطباشــيري ســببه ارتطام نيزك اســـفر عن حفرة قطرها 180 كيلومترا في المكســـيك، وانبعاث الغبار في الجو الذي سبب انقلابا في المناخ.

لكن عددا من علماء الجيولوجيا كانوا يتحدثون عن انبعاثات بركانية هائلة في الهند وقعت بعد ارتطام النيزك، وانها هي التي ادت الى الاندثار الكبير للانواع الحية اكثر بكثير مما كان لحادث الارتطام نفسه التأثير في ذلك.

اما الدراسة الاخيرة، فيبدو انها توفق بين هاتين الفرضيتين.

فبحســـب معديها، غطت الانبعاثات البركانية الســـامة كوكب الارض وغيرت مناخه وقضت على انواع حيوانية ونباتية كثيرة.

وقال بول ريني استاذ علم الجيولوجيا في جامعة بيركلي في كاليفورنيا والمشرف على الدراسة "استنادا الى تأريخنا لحمم البراكين في هضبة ديكان، تثبتنا من ان ارتطام النيزك وانطلاق النشــاط البركاني وقعا في زمن واحد يمتد على خمســين الف عام".

واضاف "لذلك يصعب الفصل بين هذين الحدثين ودورهما في ظاهرة الانقراض، لان اثار كل من الحدثين كانت قائمة في وقت واحد".

وبحســـب علماء الجيوفيزياء، فان "ارتطام النيزك ادى الى تغيير تكوين المواد البركانية ووتيرة ثوران البراكين التي امتدت لوقت طويل".

وادى ذلك الى تأخير ظهور الانواع الحيوانية والنباتية الجديدة لمدة نصف مليون عام، بحسب ما يبينه غياب المتحجرات العائدة لتلك الحقبة.

وقال بول ريني "تطلب الامر نصف مليون عام حتى تستعيد المحيطات تنوعها البيئي بعد المدة التي تصاعدت فيها وتيرة ثوران البراكين".

واضاف "الفرضية التي نميل اليها والتي تقول ان ارتطام النيزك ادى الى تنشيط ثوران البراكين، يمكن ان تفســـر ترابط ظاهرتين كان تزامنهما يعتقد بانه محض صدفة".

وفي حال الاعتقاد بان ارتطام النيزك كان الســبب في ثوران البراكين، فان ذلك يودي بفرضية ان يكون زلزال قد تسبب بذلك النشاط البركاني المدمر.

وللتوســـع في هذه الابحاث، جمع العلماء في العام 2014 عينات من الحمم البركانية في هضــبة ديكان شــرق بومباي. وتعود هذه الحمم الى بداية عصــر انقراض الديناصورات، وعلى مدى مئات الالاف من السنوات، وفي اواخره.

واســتخدمت لهذه الغاية تقنية التأريخ الاشــعاعية العالية الدقة لنظائر مشــعة من غاز الارغون.

الفصل الثالث

المعادن والصخور

المعادن

يختص علم المعادن Mineralogy بدراسة تلك المواد المتجانسة التي توجد في الطبيعة وتتكون بواسطتها مثل الألماس والذهب والتي نعرفها باسم المعادن. لقد استرعت المعادن انتباه الإنسان منذ قديم الزمان، حيث ساهمت في بناءحضارته المتطورة بصورة أو بأخرى. إننا نجد في آثار قدماء المصريين (منذ 5000 سنة) مايدلنا على أ،هم فتحوا مناجم الذهب حيث استخلصوا هذا المعدن النفيس من العروق الحاملة له. ويوجد في الصحراء الشرقية بجمهورية مصر العربية أكثر من 40 منجما فتحها القدماء واستخرجوا منها الذهب الذي صنعوا منه التماثيل والحلي. وكذلك استعملوا مغرة الحديد الحمراء (معدن الهيماتيت) في طلاء مقابرهم، كما استخلصوا النحاس من معادن النحاس الخضراء والزرقاء التي استرعت إنتباههم في شبه جزيرة سيناء (حيث يوجد بقايا أول فرن في العام لصهر خامات النحاس)، ومن النحاس صنعوا الأدوات المختلفة. ولم يقف القدماء عند هذا الحد، بل ساحوا في الصحراء بحثا وراء الأحجار الكريمة، وهي معادن نادرة جذابة (منها الأخضر مثل الزمرد والملاكيت والفيروز والابيرز) واستعملوها في صناعة عقودهم وزينتهم، ومنذ ذلك التاريخ والمعادن تسهم بنصيب كبير في نمو الحضارة، حتى أن كل عصر كان يعرف باسم المعدن الشائع فيه، فكان عصر الحديد وعصر النحاس، حتى عصرنا الحاضر. عصر الذرة، حيث يستخلص الإنسان عنصر اليورانيوم من معادن اليورانيوم المختلفة ليستعمله في إنتاج الطاقة الذرية. وبالرغم من إعتماد الإنسان منذ القدم إعتمادا كليا على المعادن في صناعة أسلحته، ووسائل راحته، وزينته، وعموما في

ضـروريـاته، فإنه من المدهش حقا أن نجد عددا كبيرا من الناس لديهم فقط فكرة غير واضــحة عن طبيعة المعادن، وأن هناك علما متخصــصــا في دراســتها ومتعمقا في أبحاثها.

إن صخور الجبال، ورمال الشاطئ، وتربة الحديثة يتكون معظمها أو جزء كبير منها من المعادن. كذلك فإن جميع المنتجات التجارية غير العضــوية التي نتداولها في حياتنا اليومية، إما أن تكون عبارة عن معادن او صــنعت من مود معدنية، فمواد البناء، والصــلب والأســمنت، والزجاج – على ســبيل المثال لا الحصر – نحصل عليهم من المعادن.

علم المعادن عند العرب

يعتبر ابن سـينا (هو أبو على الحسـين بن عبد الله بن سـينا المتوفي عام 428 هجرية ؟ 1049 ميلادية) وهو المؤسـس الرئيسـي لعلم الأرض (الجيولوجيا) أول من درس المعادن دراســة علمية فقد قســمها إلى أقســام أربعة هي: الأحجار والذئبات والكباريت (أو الكبريتيدات) والأملاح (أو المتبخرات). ويأتي بعده العـالم العبقري العربي اليروني (هو أبو الريحـان محمـد بن أحمـد البيروني المتوفى بغزنة بالهند عام 440 هجرية ؟1061 ميلادية) ويعتبر كتابه "الجماهر في معرفة الجواهر، أورع ما كتبه العرب في علم المعادن، فبالإضـافة إلى العدد الكبير من المعادن والاحجار الكريمة والفلزات التي وصــفها العالم الفذ، فإن البيروني فرق بين المعادن والفلزات. ويأتي بعد البيروني العالم التفاشـــي (هو شـهاب الدين أبو العباسـي أحمد بن يوسـف التيفاشـي القيسـي المتوفى بالقاهرة عام 651 هجرية؟1271 ميلادية) الذي نهج منهجا علميا في وصــف المعادن

والأحجار الكريمة في كتابه "أزهار الأفكار في جواهر الأ؛جار" فوصــــف كل معدن وحجر كريم بالنسبة لجيده ورديئه، خواصه ومنافعه، قيمته وثمنه، ثم تكون الحجر من المعادن. ويأتي بعده ابن الأكفاني (هو محمد بن ابراهيم بن ســـاعد الســـنجاري المعروف بابن الأكفاني المتوفى بالقاهرة عام 7469 هجرية/1369 ميلادية) الذي ألف كتاب "نخب الذخائر في أحوال الجواهر" وقدم فيه وصــــفا لاربعة عشر حجرا من الأحجار الكريمة والمعادن.

إن العرب في الحقيقة هم أول من درســـوا المعادن دراســـة علمية، قدموا في مؤلفاتهم الأســـس العلمية الأولية لعلم المعادن. لقد وصـــفوا المعادن بالنســـبة لخواصـــها البلورية وخواصـــها الطبيعية (اللون، الشـــفافية، المخدش أو المحك) والوزن النوعي (الثقل النوعي) والاختبارات الكيميائية ونشأة المعادن وأسمائها.

علاقة علم المعادن بالعلوم الطبيعية الأخرى

عموما يمكننا أن نرتب العلوم التي في الموضوعات الطبيعية غير العضوية – على أســاس أصــغر وحدة تختص الدراســات فيها اختصــاصــا مباشــرة – ترتيبا متسلسلا. فأصغر الوحدات في علم الفيزياء هي الاليكترون والنيوترون وغيرهما. أما بالنســـبة للكيميائي فأصـــغر وحدة يهتم بها مباشـــرة هي الذرة، وهو يهتم بالاليكترونات فقط عندما تؤثر على الذرات. وبطريقة مشابهة يهتم علم المعادن بصــفة أســاســية بالوحدة البنائية (خلية الوحدة) وهي تمثل أصــغر مجموعة من الذرات (أو الأيونات) التي تبين البناء الكامل لبلورة المعدن، وخو يخص الذرات باهتمامه فقط عندما يؤدي ترتيبها في صور متباينة إلى تكوين أنواع مختلفة من البلورات والمعادن. ويعتبر الصــخر (الذي يتكون من جمع من المعادن) أصــغر

وحدة يهتم بها الجيولوجي إهتماا مباشرا. وعندما يهتم بالمعادن فإن ذلك ينصب على مدى ما نسبته المعادن من تغيير في طبيعة الصخر. أما بالنسبة للفلكي فإن أصغر وحدة في دراساته هي النجم أو الكوكب، مثل كوكب الأرض، التي هي عبارة عن خليط من صخور عدة. وفي هذا الترتيب المتسلسل نجد أن علم المعادن يحتل المكان الأوسط، فوحدة الفلكي أكبر بمراحل من وحدة عالم المعادن، تماما كما تكبر هذه الوحدة الأخيرة إذا قورنت بوحدة الفيزيائي. ولكنها حقيقة أساسية أيضا أن مجالات التخصص في العلوم المختلفة لا تفصلها حدود رأسية، إنما تتخط بعضها بعضا، تخطيا يزداد كلما نمت العلوم وازدادت المعرفة.وعلى سبيل المثال، بدأ علم الفلك بدراسة المجوم والكواكب، ولكنه الآن يضم الأبحاث الطيفية للتعرف على العناصر الموجودة في الشمس وغيرها من النجوم. وكذلك يتخصص عالم المعادن أساسا في دراسة المعادن، ولكن نظرا لأن هذه المعادن توجد في هيئة بلورات، فإنه يكون لزاما عليه – لكي يتفهم طبيعة هذه البلورات – أن يقوم بدراسة الذرات والأيونات وكذلك الالكترونات ويحيط بها علما.

التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

قام الجيولوجيون بجمع عينات كثيرة لأنواع مختلفة من الصخور ومن مناطق متعددة على سطح الأرض، ثم قاموا بعد ذلك بتحليلها بغية الوصول إلى معرفة تركيبها الكيميائي، ومن هذه التحاليل توصلوا إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائي للجزء الخارجي من الغلاف اليابس للكرة الأرضية.

يتضـــح لنا حقيقتان هامتان: أولا: أن ثمانية عناصـــر فقط من بين الاثنين وتســـعين عنصـــرا الموجودة في الطبيعة تكون حوالي 99 في المائة بالوزن من تركيب القشـــرة الأرضـــي، وأن بقية العناصـــر – ومن بينها الذهب والفضـــة والنحاس والرصـــــاص والزنك – تكون فقط واحد في المائة بالوزن من تركيب القشرة الأرضية.

ثانيا: إن الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية انتشارا على الاطلاق، ولكن هذا لا يعني أن الأكســجين حر طليق في القشـرة ال{أضـية، ولكنه في الواقع مرتبط ارتباط كيميائيا في الصـخور المختلفة، وكذلك الحالة بالنسـبة للعناصـر السـبعة الأخرى، فهي لا توجد بحالتها العنصرية في هذه الصـخور، ولكنها جميعا توجد متحدة ومرتبطة بطريقة أو بأخرى لتكون ما يعرف باسم المركبات الكيميائية.

ونحن نعرف من دراستنا الكيميائية أن العناصر سالفة الذكر باستثناء الأكسجين والســـليكون هي عبارة عن فلزات، أما الســـليكون فله ميل نحو الفلزات، ولكن خواصه تدلنا على أنه يقع بين الفلزات واللافلزات.

وتتحد هذه العناصـــر الســـبعة مع الأكســـجين لتولد الأكاســـيد. ويمكن اعتبار الأكسـيد وحدة كيميائية أسـاسـية. كما يتضـح من ذكر التركيب الكيميائي للقشـرة الأرضـية في صـورة أكاسـيد والمعروف أن أكاسـيد الفلزات تعطي قواعدا بينما تعطي أكاسيد اللافلزات أحماضـا. ويتفاعل أكسيد السليكون في هذه الأحوال – خصـــوصـــا عندما توجد الأكاســـيد الفلزية – كحامض، وتكون النتيجة أن يتحد أكسيد السليكون اتحادا كيميائيا بالأكاسيد الفلزية (قواعد) ليكون السليكون. فمثلا

اذا اتحد أكسـيد المغنسـيوم كيميائيا مع أكسـيد السـليكون، فإنه ينتج عن ذلك مركب كيميائي يعرف باسم سليكات الماغنسيون.

M2O + MIO2 = MGSIO2 وهذا المركب الناتج هو أحد المركبات التي تتكون بواسـطة الطبيعة في جوف الأرض وفي ظروف من الضـغط والحرارة مختلفة تماما عما يحدث على سطح الأرض.

وفي العادة يتحد أكثر من أكسـيد فلزي مع أكسـيد السـليكون لتكوين سـليكات ثنائية أو ثلاثية أو أكثر تعقيدا عن ذلك مثل سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم.

K2O + AL2O2 + 6 S IO2 = 2 KALSI2O2

هذه السـليكات وغيرها من المركبات الكيميائية التي توجد في الطبيعة وتكونت بفعل الطبيعة. هي ما نسـميها بالمعادن، وهي التي تدخل في تركيب الصـخور المختلفة التي تكون القشـرة الأرضـية والغلاف اليابس فالمركب الكيميائي الأول (سـليكات الماغنسـيوم) الذي يوجد في الطبيعة يعرف باسـم معدن إنتاتيت Entatitine، أما المركب الثاني فيعرف باسم أرثوكليز .Orthoclase وهناك بعض العناصـر تكون معادن بمفردها، مثل الذهب والنحاس والكبريت والكربون. إن هذه المعادن توجد في الطبيعة مكونة من عنصـر واحد فقط، بدلا من أن تكون مركبا كيميائيا، ولذلك فإنها تعرف باسـم المعادن العنصـرية Native Minirale ومن أمثلتها معادن الذهب والنحاس والكبريت والألماس والجرافيت. وعلى ذلك نجد أن الخاصية الأساسية للمعادن أنها تنتج وتتكون بواسطة الطبيعة، أي أنها منتجات طبيعية وليست صناعية.

ويتميز كل من هذه المعادن سـواء أكان مركبا أم عنصـار بأن ذراته المكونة له توجد مرتبة في نظام هندســي، أو بمعنى آخر يتميز المعدن بكونه متبلورا، أي يوجد في هيئة بلورات.

وفي كثير من الأحيان لا يوجد المعدن بمفرده في الطبيعة، ولكنه يوجد مختلفطا مع معدن آخر أو أكثر، وينتج عن ذلك مخلوط من عدة معادن. مثل هذا المخلوط الطبيعي من معادن مختلفة هو ما يعرف باسم صخر.

طبيعة المعادن

يمكننا أن ننظر إلى المعادن – بصفة عامة – على أنها المواد التي تتكون منها صخور القشرة الأرضية، وعلى هذا الأساس تعتبر المعادن أهم صلة طبيعية متيســرة بين أيدينا لمعرفة تاريخ الأرض، أو بعبارة أخرى إنها الســجل الذي سـجلت فيه الحوادث المختلفة لتكون تاريخ الأرض. ويعتبر الجيولوجي المعادن التي يجدها في الصـــخور والعروق منتجات نهائية لعمليات طبيعية كثيرة ومتشـــعبة، ووظيفته الأولى هي الكشـــف وإزاحة الســـتار عن غوامض هذه العمليات. وأول ما يقوم به جيولوجي المعادن في هذه الوظيفة هو دراســـة خواص أنواع المعادن (بلورية، فيزيائية، كيميائية) ونشـــأتها، وعلاقتها الزمانية والتسلسل الزمني لتكونها أو ما نسميه بالنشأة التتابعية. إن معظم أنواع الصخور تتكون من مخاليط معادن عدة، ولكن قلة من الصـــخور، مثل الحجر الجيري تتكون أساسا من معدن واحد. والغالبية العظمى من المعادن توجد في الطبيعة مكونة الصـــخور المختلفة، أما الباقي فيوجد في الطبيعة مكونا العروق ومالئا الفجوات، ومعظم معادن هذا النوع الأخير من الظهور والتواجد في الطبيعة ذو

فائدة اقتصـــادية، وتعرف هذه المعادن باســم الخاماتOres ، ومنها اســتخرج الفلزات المختلفة التي تستفيد الحضارة البشرية منها.

وبما أن هدف جيولوجي المعادن هو الوصـول إلى الحقائق الفيزيائية والكيميائية والتاريخية للقشرة الأرضية، لذلك كان لفظ "معدن"، والدراسات المعدنية محصورا في المواد التي توجد وتتكون في الطبيعة. فمثلا الصلب والأسمنت والزجاج ولو أ،ها مواد ناتجة من وحدات معدنية توجد في الطبيعة، إلا أنه لا تعتبر معادن لأن الإنسان قام بتجهيزها، وكذلك الحال بالنسبة لجوهرة صناعية مثل الياقوت، فلو أنها تشـــابه تماما جوهرة الياقوت الطبيعية كيميائيا وفيزيائيا إلا أنه تعتبر معدنا.

ولا يدخل في اختصـــاص جيولوجي المعادن تلك المواد الناتجة من النشـــاط الحيواني والنباتي مثل الفحم وزيت البترول والكهرمان الخ، ولو أن هذه المواد توجد طبيعيا في القشــرة الأرضــية. فاللؤلؤ والصــدفة ولو أنهما يشــبهان تماما معدني الإراجونيتAragonite ، الكالســيتCalcite ، إلا أنهما لا ينتظمان تحت صنف المعادن. هذا بالنسبة لجيولوجي المعادن. ولكن الجيولوجي الاقتصادي لا يتقيد بهذا التحديد فعندما يتكلم عن الثروات المعدنية لبلد ما فإنه يشـــمل البترول والفحم وكلاهما منتجات عضوية.

وربما كان أهم تحديد وضـــعه جيولوجي المعادن عن تعريفه للمعدن هو أن المعدن لابد أن يكون عنصــرا أو مركبا كيميائيا، أي لابد أن نكون قادرين على التعبير عن التركيب الكيميائي للمعدن بواســـطة قانون كيميائي. وعلى هذا الأساس يستثنى من المعادن جميع المخاليط الطبيعية (الميكانيكية) مهما كانت

متجانســـــة ومنظمة. ولقد نتج هذا التحديد من الصــــورة التي يعرفها جيولجي المعادن عن المواد المتبلورة ألا وهي ذلك الهيكل أو البناء من الذرات والأيونات ومجموعاتها اذي يمتد بصـــورة منظمة هندســـية في كل أنحاء المادة الصـــلبة المتبلورة. مثل هذه المادة الصلبة المتبلورة لابد أن تخضع لقوانين النسب الثانية والمضـاعفة، وكذلك يجب أن تكون المادة في كليتها متعادلة كهربيا. فإذا أحللنا ذرة محل أخرى في هذه المادة الصـــلبة المتبلورة – وكثيرا ما يحدث هذا في الطبيعة – فإن هذا لا يؤثر أو ينقس من التعريف بل ينطبق على مثل هذه المادة، طالما أن البناء الذري (الهيكل الذري) لم يتعير وطالما أن الحالة الكهربية متعادلة، ولهذا الســـبب فإننا نجد المعادن في بعض الأحيان ذات تركيب كيميائي متغير – ولكن في نطاق محدود = وذلك بســـبب إحلال ذرة عنصر محل ذرة عنصر آخر في بناء المعدن.

ومن ناحية أخرى نجد أن مادة مثل إمريEmery ، توجد في الطبيعة ولها تركيب كيميائي غير عضـــوي ثابت تقريبا لا ينطبق عليها التعريف أعلاه، وبالتالي لا تعتبر معدنا، لماذا ؟ لأنه يمكن فصل هذه المادة إلى مركبين كيميائيين مختلفين تمام الاختلاف عن بعضـــهما البعض في خواصـــهما الفيزيائية والكيميائية هما كوراندوم Corundum Al2O3 ، وماجنتيت.Magnetite Fe3O4

وعلى ذلك نجد أن التركيب الكيميائي للمعدن المكون من عدة عناصـــر يمكن التعبير عنه بقانون تتحدد فيه العناصـر بنسـب ثابتة. فمثلا في المعدن الشائع العروف باسـم كوارتز Quartz نجد أن النســبة هي 1 ذرة ســليكون إلى 2 ذرة أكســجين، وينتج عنها القانون .SiO2 وكذلك الحالة بالنســبة لمعدن خام الحديد

المعروف باسم هيماتيت Hematite نجد القانونFe_2O_3 ، يدل على أن النسبة هي 2 ذرة حديد إلى 3 ذرة أكسجين. وهذه النسب ثابة لا تتغير مهما تغير المكان الذي نجد في الكوارتز أو الهيماتيت. أما المعدن المكون للصخور والمعروف باسم أوليفينOlivine ، فنحد أن قانونه كما تدل عليه التحاليل الكيميائية هو $(Mg_2Fe)_2 SiO_4$. مثل هذا القانون يدل على أن المغنسيوم والحديد يوجدان في جميع معادن الأوليفين بنسب تختلف من مكان لآخر، ولكن النسبة بين مجموع ذرات المغنسيوم والحديد إلى عدد ذرات السليكون والأكسحين ثابتة. وهذا يعني بالنسبة لجيولوجي المعادن أن ذرات المغنسيوم والحديد حرة في إحلالها محل بعضها البعض في أماكنها المتشابهة في البناء الذري المميز لمعدن الأوليفين. ومثل هذا الاختلاف في التركيب الكيميائي، نتيجة لإحلال ذرة عنصر آخر، لا يتعارض مع قانون النسب الثابتة في المركبات الكيميائية.

وعندما يتكون المعدن وينمو فإن نسب الذرات المكونة له تظل محفوظة، وينتج عن ذلك ترتيب الذرات ترتيبا هندسيا منتظما في الأبعاد الثلاثة. ويمكننا في الوقت الحاضر التعرف على هذا النظام الذري الداخلي بواسطة طرف فنية أستعمل فيها الأشعة السينية والميكروسكوب. ولكن قبل استعمال هذه الطرق كانت دراسة الأسطح الخارجية للمعدن هي التي تعطينا فكرة عن الترتيب الذري الداخلي، وعندما يكون المعدن حرا في نموه كما يحدث في فجوة واسعة مثلا، فإن الذظام الذري الداخلي يعكس نفسه في الخارج عن طريق السطوح التي تحد المعدن من الخارج وينتج عن ذلك تكوين بلورة المعدن.

وعلى ذلك يمكننا تعريف المعدن بأنه كل مادة صـــلبة متجانســـة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائي محدود ونظام بلوري مميز.

ولعلم المعادن صـــلة وثيقة بعلوم الجيولوجيا والفيزيائي والكيمياء، فجيولوجي المعادن يرســـم الخرائط الجيولوجية في الحقل ويبين عليها الرواســـب المعدنية والظواهر البنائية للقشرة الأرضية، ويجمع العينات من هنا وهناك. ثم يحللها في مختبره، ويجري عليها الطرق المختلفة التي يستعملها الكيميائي والفيزيائي.

ولو أن علم المعادن علم متكامل الوحدات، إلا أنه لغرض الدراســـة ومعالجة موضـــوع المعادن في هذا الكتبا بطريقة ســـهلة يمكننا تقســـيم العلم إلى أفرع البلورات والخواص البلوريـــة للمعـــادنCrystallography ، والخواص الفيزيـائيـة للمعهادن، والخواص الكيميائية للمعادن. ونشـــأة المعادن وتكونها في الطبيعة ســـواء أكان ذلك في الرواســـب المعدنية المعروفة باســـم الخامات أم في أنواع الصخور المختلفة، ثم وصفها وطرق التعرف عليها والتمييز بينها.

البلورات والخواص البلورية للمعادن

علم البلورات هو ذلك العلم الذي يختص بدراســـة البلورات والمواد المتبلورة. والمعروف أن المواد المتبلورة توجد في الطبيعة إما في حالة حبيبات منفردة أو مجموعات. ويمكن تعريف البلورة بأنها عبارة عن جســـم صـــلب متجانس يحده أسـطح مسـتوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسـبة من الضـغط والحرارة. والأسطح المستوية التي تحدد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات.

والأوجه البلورية في الحقيقة هي تعبير وإظهار للترتيب الذري الداخلي للمادة المتبلورة. والعملية التي تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور، وهي عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو المحاليل المشبعة، أو برد مصهور ببطء أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة. وفي البلاد الباردة يتجمد ماء المطر بسبب انخفاض درجة الحرارة وتتكون بلورات الثلج سداسية الشكل.

فإذا فحصنا أي بلورة منفردة من هذه البلورات الناتج نجد أن التي نمت بحرية دون عائق يحد من حريتها في النمو، لها أسطح مستوية أو أوجه، تكونت طبيعيا أثناء نمو البلورة. أم الأسطح التي نراها مصقولة على قطعة من الزجاج، ومرتبة في شكل هندسي جميل، وتباع كجواهر مقلدة، فإنها لا نسمي أوجهها بلورية كما أن الزجاج نفسه لا يسمى بلورة، فبالإضافة إلى أن هذه الأسطح المستوية صناعية التكوين، فإن المادة نفسها وهي الزجاج ينقصها النباء الذري الداخلي المرتب.

ويستخدم علم البلورات الآن باستمرار وباطراد مستمر في حل كثير من المشاكل الكيميائية والفيزيائية وفي دراسات وأبحاث التعدين والمواد الحرارية والادوية والدراسات البيولوجية (الحيوية).

ويمكن تقسيم البلورات حسب إستكمال الأوجه البلورية إلى ثلاثة أقسام:

1- بلورات كاملة الأوجه وذلك حينما تكون جميع الأوجه البلورية موجودة.

2- ناقصة الأوجه، وذلك حينما يكون جزء من الأوجه متكون فقط والباقي غير موجود.

3- عديمة الأوجه، وفي هذه الحالة يكون المادة المتبلورة عبارة عن حبيبات لا يحدها أوجه بلورية، وغالبا ما توجد هذه الحبيبات في هيئة مجموعات.

وتشترك هذه الأنواع الثلاثة (كاملة الأوجه – ناقصة الأوجه – عديمة الأوجه)، في أن لها بناءا ذريا داخليا منتظما. أو بمعنى آخر أن المواد المكونة لها سواء أكانت ذرات أم أيونات.. توجد مرتبة في نظام هندسي. وعلى هذا الأساس يتبين لنا أنه ليس من الضروري بتاتا ان نجد الأوجه البلورية تحدأ المادة المتبلورة، إذ أن تكون هذه الأوجه رهن بالظروف المحيطة بالمادة المتبلورة أثناء عملية التبلور. وعلى ذلك فإننا نعرف كل مادة صلبة ذات بناء ذري داخل يمنظم باسم مادة متبلورة، فإذا كانت هذه المادة المتبلورة ذات أوجه طبيعية مرتبة في نظام هندسي، ويمكن رؤية هذه الأوجه بواسطة العين المجدرة، أو عدسة مكبرة، سميت باسم بلورة.

أما إذا كانت المادة ينقسها النباء الذري الداخلي المنتظم فتوصف بأنها مادة غير متبلورة، وتكون المعادن غير المتبلورة في المملكة المعدنية قلة (وتعتبر استثناء وليست قاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفي للمعدن الذي يتضمن أن المعدة مادة متبلورة)، ومن أمثل المعادن غير المتبلورة الأوبال Opal ($SiO_2.nH_2O$)، والكريزوكولا Chrysocolla (سليكات النحاس المائية). ولما كان البناء الذري في مثل هذه المواد غي رالمتبولة غير منتظم فإننا نجد أن تركيبها الكيميائي غير ثابت. وبالتالي لا يعبر عنه بقانون كيميائي. فمثلا تتراوح نسبة الماء في معدن الأوبال ما بين 6، 9 بالمائة وقد تصل إلى 20 بالمائة من وزن

المعدن. أما في معدن الكريزوكولا، فإن تركيبه الكيميائي متغير في مدى كبير حيث نجد أن كميات النحاس والماء متغيرة وليست ثابتة.

ومن هذا يتضـح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلوة يكون في البناء الداخليز وفإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فالمادة متبلورة، أما إذا لم تكن كذلك، أي أن الذرات غير مرتبة، فالمادة اذن غير متبلورة. وعندما لا توجد أوجه بلورية، فإنه لا يمكن التفرقة بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب المستقطب وفي بعض الأحياء الأشعة السينية.

ولكن إذا كانت الأوجه البلورية موجودة، كلها أو بعضها، فإن دراستها تساعدنا كثيرا في التعرف على المعدن، لأن الأوجه البلورية، ما هي إلا تعبير عن البناء الذري الداخلي المميز للمعدن. و"موروفوروجيا البلورات" هو ذلك الفرع من علم البلورات الذي يختص بدراسة الخواص الخارجية للبلورات.

وقبل أن نصـف المظهر الخارجي للبلورات بشـئ من التفصـيل، يجدر بنا أن نشير إشارة سريعة إلى بعض الخواص الهندسية للبناء الذري الداخلي المنتظم للبلورات.

البناء الداخلي للبلورات

تتميز المواد المتبلورة بحقيقة أساسية هي الترتيب المنتظم للذرات والأيونات التي تتكون منها. وعلى ها الأسـاس يجب أن نتصـور البلورة كبنيان يتكون من وحدات غاية في الدقة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة. وأسـاس البناء البلوري

هو التكرار، الذي يمكن تشبيهه بتكرار رسم معين على ورق الزينة الذي يلصق على الحائط (ولكن مع فارق أنه في هذه الحالة الأخيرة يتكرر في بعدين فقط.(

وتترتب هذه الوحدات المتشـــابهة عن نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل نقطة لها نفس الظروف المحيطة بالنقاط الأخرى، وبتحديد هذا الترتيب بواسـطة اتجاهاته الثلاثة والمســافات التي تتكر عندها النقاط في هذه الاتجاهات. وقد أوضـــحت المحاولات التي قام بها برافيه عام 1848 أن هناك 14 نمطا فقط لهذه الترتيبات ممكنة هندسيا. وتعرف هذه الترتيبات الفراغية باسم الترتيبات الفراغية الأربعة عشر لبرافيه.The 14 Barvbis space lattices

وأبسط وحدات الترتيب الفراغي مجسم متوازي السطوح ويعرف باسم الوحدات الثنائية، ويلاحظ أن بعض هذه الترتيبات الفراغية أو الوحدات الفراغية البدائية تحتوي الواحدة منها على نقطة واحدة (وتفســـير ذلك أنه بالغرم من وجود نقاط عند الأركان الثمانية للوحدة البنائية في الترتيب الفراغي البدائي. إلا أنه نظرا لأن كل نقطة من هذه النقاط تكون مشـــتركة بين ثماني وحدات بنائية متجاورة. فإن ثمن نقطة يتبع الوحدة البنائية الواحدة، وبالتالي تســـهم النقاط عند الأركان الثمانية بما يســاوي نقطة واحدة بالنسـبة للوحدة البنائية الواحدة). وتختلف هذه الوحدات البنائية البدائية عن بعضـــها البعض في أطوال حدودها (حوافها) والزوايا المحصـــورة بين هذه الحدود(α, β, γ)) ، أما بقية الوحدات البنائية، فلها نقاط إضافية إما عند مراكز جميع الأوجه. وتعرف باسم ممركز الأوجه أو عند وجهين متقالبين أو ممركزة في الداخل. وفي جميع هذه الحالات تكون الوحدة

البنائية مضـــاعفة أي تحتوي على أكثر من نقطة 4 نقاط في حالةF ، نقطتان في كل من حالتي.C, I

وتكون الوحدات البنائية المرصـوصـة في ترتيب الهيكل الغرافي – ترتيب فراغي بدائي P ترتيب فراغي ممركز في الدخل 1 – البلورات التي نمســكها بين أيدينا ونجري عليها الاختبارات ومها هذه الوحدات في الحقيقة إلى ذرات أو مجموعات من الذرات. ففي البلورة كما في المعادن العنصرية (أي التي تتكون من عنصر واحد)، نجد الذرات غير مشــحونة، ولكن في معظم الحالات تحمل الذرات شحنات كهربية، وتعرف حينئذ باسم أيونات (تعرف الموجبة منها باسم كاتيونات بينما تعرف السالبة باسم أنيونات). وتتكون معظم المعادن من أيونات أو حشود من الأيونات يضـمها إلى بعضـها البعض روابط كهربائية نائية عن الشـحنات المضـــادة ونقصـــد بكلمة بناء البلورة ترتيب الأيونات والمجموعات الأيونية في الفراغ وطبيعة الروابط الكهربائية التي تضـم هذه الأيونات إلى بعضـها البعض، ومدى قوة هذه الروابط. ويمكن تشـــبيه الوحدات البنائية (الذرات والأيونات والحشـود الأيونية)، بقالب الطوب في بنيان حائط بينما تشـبه الروابط الكهربية بين هذه الوحدات البنائية، بالمونة التي تضم القوالب بعضها إلى بعض.

الخواص الخارجية للبللورات

الأوجه البلورية

قلنا أن البلورة تتميز عن المادة المتبلورة في أنه لها أســطحا مســتوية خارجية تعرف بالأوجه البلورية. ومنجد أن الأوجه البلورية لها علاقة بالنظام الذري

الداخلي. هذه العلاقة نائية من أن هذه الأوجه البلورية تكونت نتيجة لهذا النظام الذري الداخلي، والملاحظ أنه عندما ترتب الذرات نفســـها في أي نظام – أثناء نمو المادة المتبلورة. قد يكون هناك عدد معين من الســـطوح المحتمل تكونها لتحد البلورة الناتجة وهذا العدد يكون عادة قليلا، وذلك لأنن المســـتويات التي تشـــمل أكبر عدد من الذرات هي التي تحدد أمكنة الأوجه البلورية. أي أن الأوجه البلورية المحتمل تكونها (وفي المادة هي التي تتكون فعلا)، هي التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات.

ولما كان البناء الذري الداخلي للمادة المتبلورة ثابت، وأن الأوجه البلورية – كما أسلفنا – لها ارتباط وثيق بنظام ثابة بالنظام الذري الداخلي، فإنه ينتج عن ذلك أن الأوجه البلورية الخارجية لابد وأن تكون ذات عرقة ثابتة مع بعضها البعض. هذه العلاقة الثابتة بين الأوجه البلورية توجد في الزوايا التي تكونها الأوجه. وهذه الحقيقة تعرف باسم قانون ثبات الزوايا بين الوجهية Law of constancy of interfacial angles.

وينص هذا القانون على أن زاوية الميل بين وجهين بلورين (زاوية بين وجهية) ثابتة في بلورات المادة الواحدة (عند درجة الحرارة الواحدة). أن الوجه أ ح يعمل زاوية مقدارها 45 مع الوج أب ب في جميع البلورات في هذه المادة ذات النظام الذري المبين (المسافات متساوية بين الذرات في جميع الاتجاهات)، أما الوجه أ د فإنه يعمل زاوية مقدارها 41 33 درجة مع الوجه أ ب، ويعمل الوجه أ هـ زاوية مقدارها 34 26 درجة مع الوجه أ ب، أم الوجه أ و فيعمل زاوية مقدارها 26 18 مع الوجه أ ب.

وهذا القانون أساسي ومهم جدا في علم البلورات، فبواسطته يمكن التعرف على كثير من العادن، وذلك إذا قسنا الزوايا بين الوجهين بدقة (بواسطة جهاز يعرف باسم الجونيومتر) إذ أن هذه الزواياة مميزة لكل معدن. ومن أبسط أنواع الجيونيومتر النوع الذي يعرف باسم جونيومتر التماس، الذي يستعمل في قياس الزوايا بين الوجهية على البلورات الكبيرة ونتائجه دقيقة إلى حد ما.

ويمكن التعرف على طريقة استعماله ويجب مراعات أن يكون مستوى ذراعي الجيونيومتر متعامدا تماما على حرفي البلورة اللذين يحصران بينهما الزاوية بين الوجهية.

كما يجب ألا يغب عن الذهب أن الزوايا المكملة (الزوايا الداخلة) هي التي تقاس عادة وتدون كقيمة للزوايا بين الوجهية عند دراسة البلور. تسجل الزاوية التي مقدارها 40 درجة وليست الزاوية التي مقدارها 140 درجة.

وأول من لاحظ ثبات الزوايا بين الوجهية هو العالم الدنماركي استينوهام 1669. فعندما قطع مقاطع أفقية في عدد كبير من بلورات الكوارتز، وجد أن الزاوية بين أي وجهين، ولكيونا م1، م2 مثلا، مقدارها ثابت بين جميع الأوجه التي تناظر م1، م2 في المقاطع الأخرى. هذه الزاوية مقدارها 12- درجة مهما اختلفت البلورات في الشكل الخارجي أو الحجم، ومن أي مكان جمعت البلورة.

وتختلف بلورة المعدن الواحد في الطبيعة من ناحية مظهرها. فمنها الصغير ومنها الكبير، ومنها المفلطح ومنها الطويل، إبريا كان أو منشوريا. ولكننا نجد أنه مهما اختلف المظهر فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة. فبلورة مكعبة الشكل قد

توجد متساوية الأبعاد أو مفلطحة أو منشورية، أو ابرية لاشكل ولكن في جميع الحالات تبقى الزاوية بين أي وجهين متناظرين ثابتة ومقدارها في هذه الحالة 90 درجة.

ونلاحظ بصـــفة عامة أن الأوجه البلورية في البلورات الطبيعية (الموجودة في الطبيعة) غير متسـاوية التكوين. فنجد مثلا أن الأوجه البلورية الثمانية للشـكل البلوري المعروف بالســم ثماني الأوجه، لا تكون متســاوية في شــكل مثلثات متساوية الأضـلاع ولكن نجد أن هذه الأوجه غير متساوية التكوين،ولكن بالرغم من عدم تساوي الأوجه فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة.

ويعرف عدم تساوي الأوجه البلورية للشكل البلوري الواحد باسم اختلاف الأوجه البلورية أو النشـوء، وتعرف البلورة في هذه الحالة باسـم مختلفة الأوجه البلورية أو مشـوهة. والنشـوء لا يشـير من قيمة الزوايا بن الوجهية بالمرة. وهذا ناتج من أن الأوجه البلورية نفســها ثابتة الميل والاتجاه. لأنها هي الأخرى نتيجة وتعبير للبناء الذري الداخلي المنظم للبلورة إذ تكون الأوجه البلورية موازية للمســتويات التي تشـمل أكبر عدد ممكن من الذرات. وبمان أن الترتيب الذري الداخلي ثابت في جميع بلورات المادة الواحدة، لذلك كانت الأوجه البلورية المتكونة على جميع هذه البلورات ثابتة الإتجاه أيضا، وبالتالي تكون الزوايا بينهما ثابتة.

عناصر التماثل Element of Symmetry

من الظواهر الملحوظة على كثير من البلورات ظاهرة التوزيع المنظم والمرتب للأوجه البلورية. فإننا نجد أن جميع الأوجه البلورية وكذلك الذرات والأيونات المكونة للمادة مرتبة حسب نظام خاص وتنسيق معين يخضع لقواعد معينة معروفة باسم عناصر التماثل. وجوهر التماثل هو التكرار. فنلاحظ أن وجه البلورة مثلا أو أحد أحرفها يتكرر عدة مرات – أي يوجد في أماكن متماثلة عددا من المرات – طبقا لقانون ثابت. ويعتبر التماثل أساسا في دارسة البلورات.

ويمكن تعريف التماثل في بلورة ما بأنه عبارة عن العمليات التي ينتج عنها أن تأخذ مجموعة معينة من الأوجه البلورية نفس المكان الذي تشغله إحداها. والعمليات التماثلية المعروفة هي:

1. دوران حور محور (محور التماثل الدوراني).
2. انعكاس خلال مستوى (مستوى التماثل).
3. انقلاب حول مركز (مركز التماثل).
4. دوران حول محور مصحوبا بانقلاب (محور التماثل الانقلابي).

ويعرف المحور والمستوى باسم عناصر التماثل.

محور التماثل الدوراني Rotation axis of symmetry

وهو عبارة عن الخط الذي يمر بمركز البلورة والذي تدور أو تلف حوله البلورة وينتج عن هذا أن يتكرر وضع البلورة. أي ظهور وجه أو حرف ما مرتين أو

أكثر ومتخذا في كل مرة وضعها مشابها للموضع الاول خلال دورة كاملة (أي 360 درجة).

ويطلق على المحور اســـم ثنائي التماثل أو ثلاثي التماثل أو رباعي التماثل أو ســداســي التماثل، حســب عدد المرات التي يظهر فيها الوجه على البلورة في الدورة الكاملة. ففي حالة المحور ثنائي التماثل، يظهر الوجه كل 180 درجة. ويتكرر وضـــع البلورة مرتين في 360 درجة. وفي حالة المحور ثلاثي التماثل، يظهر الوجه كل 120 درجة، ويتكرر فإن الوجه يظهر كل 90 درجة، ويتكرر وضـع البلورة أربع مرات خلال 360 درجة. وفي حالة المحور سداسي التماثل، يظهر الوجه مرة كل 60 درجة، ويتكرر وضـــع البلورة ســـت مرات في الدورة الكاملة. ويرمز للمحاور التماثلية بالرموز الآتية: 2، 3، 4، 6.

وقد يتسـاءل سـائل لماذا لا يوجد محور خماسـي التماثل أو سـباعي التماثل أو أكبر من ذلك؟ والإجابة على ذلك بســـيطة إذا علمنا أن الوحدة البنائية ذات التماثل البلوري يجب أن تكون قادرة على التكرار في الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مســـافات. فالأشـــكال الثنائية التماثل وكذلك الثلاثية والرباعية والســداســية تتكرر لمتلأ الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مســافة بينية، بينما تترك الأشـكال الخماسـية والسـباعية والثمانية التماثل مسـافات وفجوات (مظللة على الرســـم)،وهذا لا يتفق مع الترتيب المنتظم في الفراغ للوحدات البنائية في الأبعاد الثلاثة.

مستوى التماثل Plan of symmetry وهو المستوى الذي يقسم البلورة إلى نصفين متشـابهين بحيث إذا وضـعنا أحد النصـفين أمام مرآة فإن الصـورة الناتجة تنطبق

تماما على النصــف الآخر للبلورة ورمز لمســتوى التماثل برمز "م" (من كلمة مرآة).

مركز التماثل Center of symmetry تحتوي البلورة على لمركز تماثل اذا قابل الخط المار بالمركز من أي نقطة على ســطح البلورة نقطة مشــابهة لها تماما على الجزء المقابل. أو بمعنى آخر إذا وجد لكل وجه بلوري أو حرف في ناحية من مركز البلورة وجه بلوري مشــابه أو حرف في الناحية المقابلة الأخرى من مركز البلورة وعلى مســافة مســاوية، فإن هذه البلورة تحتوي على مركز تماثل ويرمز لمركز التماثل بالرمو "ن"، (نقطة لاتماثل الداخلية). والبلورة إما أن تحتوي على مركز تماثل واحد فقط أو لا تحتوي على مركز تماثل بالمرة.

محور التماثل الانقلابي Inversion axis symmetry يجمع هذا العنصر التماثلي بين محور التماثل الدوراني والانقلابي عبر مركز البلورة. ويجب اتمام العمليتين قبل الحصــول على موقع التكرار الجديد. فإذا كان يوجد بالبلورة مركز تماثل فإنه يرمز له عادة برمز محور الإنقلاب أحادي التماثل (أ)، إذ أ، هذا يكافئ دوران نقطة على البلورة دوة كاملة (360 درجة) ثم تكرارها بإنقلابها عبر المركز في الجهة المقابلة لهذه لانقطة على البلورة. وهناك أيضــا محاور انقلابية ثنائية وثلاثية، ورباعية وســداســية التماثل. والآن لنتفهم كيف يعمل محور التماثل الانقلابي، وليكن مثلا محور انقلابي رباعي التماثل. في حالة محور الدوران الراعي التماثل نلاحظ أن تكرار أربع نقاط (أو أركان) – تبعد الواحدة منها عن الأخرى 90 درجة – يحدث جميعه إما على الجزء الأعلى من البلورة أو على الجزء الأســفل للبلورة. أما في عملية المحور الانقلابي الرباعي التماثل، فإن

النقاط (أو الأركان الأربع سوف تتكرر أيضا كل 90 درجة، ولكن اثنتين منها توجد أعلى البلورة، بينما توجد النقطتان الآخريان أسفل البلورة، إن عمل مثل هذا المحور الانقلابي التماثل يشمل أربعة دورانات كل 90 درجة، ويلي ذلك إذا كانت النقطة الأولى في الجزء الأعلى من البلورة، كانت النقطة الثانية في الجزء الأسفل للبلورة، والثالثة في الجزء الأعلى والرابعة في الجزء الأسفل. ويرمز للمحاور الانقلابية أحادية، وثنائية، وثلاثية، ورباعية وسداسية التماثل بالرموز التالية على التوالي: 1، 2، 3، 4، 6

قانون التماثل Symmetry formula

يمكن كتابة عناصر التماثل في البلورة في هيئة قانون يعرف باسم قانون التماثل الكامل Complete Symmetry formula ، وذلك باستعمال الرموز التماثلية وهي: 2، 3، 4، 6، للمحاول الدورانية الثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي و 1، 2، 3، 4، 6 للمحاور الانقلابية الأحادية والثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي ن م لمستوى التماثل، ن لمركز التماثل. فاذا وجد محور دوران تماثلي عموديا على مستوى تماثل فإن القانون يكتب هكذا 2/م أو 3/م، الخ... حسب درجة المحور التماثل، ويقرأ اثنين على ميم، وثلاثة على ميم، الخ.. أما إذا كان المحور التماثلي يمر في المستوى التماثلي وليس عموديا عليه، فإن القانون يكتب 2م أو 3 م الخ.. حسب درجة المحور التماثلي. أما في حالة وجود مستويان تماثليان أحدهما عمودي على المحور التماثلي والآخر يمر بالمحور فإن القانون يكتب 2/م م أو 3/م م، الخ. وفي حالة وجود أكثر من محور تماثل واحد أو مستوى تماثل واحد فإن عدد

المحاور أو المســـتويات يكتب في لاركب الأعلى الشـــمالي لرمز المحور أو المستوى هكذا 32، م3، 4/م 3 أي ثلاثة محاور ثنائية التماثل، ثلاث مستويات تماثلية، ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على ثلاث مستويات تماثلية، على التوالي (لاحظ أن القانون الأخير لا يعني ثلاثة محاول رباعية التماثل عمودية على مستوى تماثل واحد، إذ أن 4/م تدل على مجموعة غير مجزأة).

الفصائل والمحاور البلورية

الفصائل البلورية Crystallographic systems

تتبع البلورات سبعة أقسام تعرف باسم الفصائل البلورية السبعة، يمكن التعرف عليها على أساس المحاول التماثلية الموجودة كما يلي:

1 – فصيلة المكعب (أو متساوي الأطوال) وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على أربعة محاور ثلاثية التماثل.

2– فصيلة السدساسي، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد سداسي التماثل فقط.

3– فصـــيلة الرباعي، وتشـــمل جميع البلورات التي تحتوي على محور رباعي التماثل فقط.

4– فصيلة الثلاثي، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثلاثي التماثل فقط.

5- فصـــيلة المعيني القائم، وتشـــمل جميع البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور ثنائية التماثل.

6- فصـيلة الميل الواحد، وتشـمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثنائي التماثل فقط.

7- فصيلة الميول الثلاثة، وبلوراتها لا تحتوي على آية محاور تماثلية.

وتضم كل فصيلة من هذه الفصائل السبعة عددا من المجموعات التماثلية، أو ما يعرف باســم النظم البلورية (اثنين في فصــيلة الميول الثلاثة، وثلاثة في كل من فصـيلتي الميل الواحد والمعيني القائم، خمسـة في كل من فصـيلتي الثلاثي والمكعب، ســبعة في كل من فصـــيلتي الرباعي والســـداســـي) وتحتوي على المميزات التماثلية للفصـــيلة التي تتبعها، فمثلا، قد تحتوي بلورة تابعة لفصـــيلة الثلاثي على محور دوران ثلاثي التمـاثـل فقط، أو على محور انقلابي ثلاثي التماثل، أو على مجموعة من محور واحد ثلاثي التماثل، وثلاثة محاور ثنائية التماثل، أو ثلاثة مســـتويات تماثل، أو كليهما. معنى ذلك أن فصـــيلة الثلاثي تضـم خمسـة نظم بلورية. وعلى هذا الأسـاس وجد أن الفصـائل البلورية لاسبعة تضـــم 32 نظاما بلوريا، وفي كل فصـــيلة يوجد نظام واحد يحتوي على أعلى تماثل بين النظم التابعة لهذه الفصـيلة. ويعرف هذا النظام باسـم النظام الكامل التماثل.

وسوف نكتفي في مناقشاتنا الحالية بدراسة النظام الكامل التماثل في كل فصيلة بالتفصـيل، أما النظم الأقل تماثلا في كل فصـيلة فسـوف نشـير إليها في أول

الحديث عن الفصيلة. ويجدر بنا أن نشير في هذا المقام إلى أن بعض المؤلفين في بعض الدول يعتبرون فصيلة الثلاثي قسما تابعا لفصيلة السداسي، وهذا يعني ستة فصائل بلورية فقط، ولكن العدد الكلي لمجموعات التماثل المختلفة (النظم البلورية) موزعة على هذه الفصائل الستة بعينة نفس العدد (32) الذي يضمه التصنيف إلى سبعة فصائل.

المحاور البلورية Crystallographic axes

المحاور البلورية هي عبارة عن ثلاثة خطوط تصورية أو خيالية، (أربعة في فصيلتي السداسي والثلاثي) والتي يمكن رسمها داخل البلورة بحيث تتقاطع في مركز البلورة (مركز النقل)، وتعمل كخطوط ترجع إليها كلما أردنا وصف مواضع الأوجه البلورية (كل وجه لابد أن يقطع واحدا أو أكثر من هذه المحاول البلورية على مسافة معينة من المراكز).

واتجاهات المحاور البلورية محددة على البلورة بواسطة العناصر التماثلية الموجودة، إذ غالبا ما يكون محور التماثل محورا بلوريا وخصوصا بالنسبة للمحور البلوري الرأسية (ج) الذي يمثل في غالبية الأحوال المحور الأكثر تماثل. وينتج عن تقاطع المحاور البلورية ما يسمى بالمتقاطع البمحوري Axial cross، وبرمز إلى وحدات المحاول البلورية إذا كانت متساوية بالرموز 111. أما إذا كانت الوحدات التماثلية مختلفة الأطوال فإنه يرمز إليها بالرموز أ، ب، ج، حيث أ هو المحور الممتد من الأمام إلى الخلف (الاجاه س)، ب المحور المتد من اليمين إلى اليسار (الاتجاه ص)، ج هو المحور الممتد رأسيا (الاجاه

ع). ونفرق أطوال هذه الحاول باوســــطة اســـتعمال الاشــــارات الموجبة (+)، والسالبة (−).

وينتج عن تقاطع هذه المحاول الثلاثة زوايا تعرف باسـم الزوايا المحورية، وهي زاوية ألفا (α) بين بن، ج، وزاوية بيتا (β) بين أ، ج، وزاوية جاما (δ) بين أن، ب.

وعلى أســاس أطوال وحدات المحاور البلورية، والزوايا بين هذه المحاول، يمكننا لتمييز بين الفصــائل البلورية الســبعة كما هو مبين في الجدوذ: اســم الفصــيلة الزوايا بين المحاور طول الوحدة في الاتجاهات δ β α س ص)ط (ع الطول الواحد المكعب 90 90 90أ أ أ الســداســي 120 90 90أ أ ج الطولين الرباعي 90 90 90أ أ ج الثلاثي 90 ǂ α = β= δأ أ أ ج الأطوال الثلاثة المعيني القائم 90 90 90أ ب ب ج الميل الواحد 90 90< 90أ ب ب ج الميول الثلاثية 90 < 90 90<أ ب ب ج

ويجدر بنا الإشـــــارة في هذا المكان إلى أن المحور البلوري ج هو دائما محور ســداســي التماثل في فصــيلة لاســداســي، ورباعي التماثل في فصــيلة الرباعي، وثلاثي التماثل في فصــيلة الثلاثي. وتختلف فصــيلة الثلاثي عن الســداســي، بجانب الاختلافات الســـــابقة، في أن فصــــيلة الثلاثي لا تحتوي بلوراتها على مستوى تمثالي أفقي.

تعليمات بشأن اختيار المحاور البلورية : (في النظم الكاملة التماثل)

فصيلة المكعب: المحاور الرباعية التماثل هي المحاور البلورية.

فصيلة السداسي: المحور السداسي التماثل هو المحور ج، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور 1 أ 1، أ2، أ3.

فصيلة الرباعي: المحور الرباعي التماثل هو المحور ج، وأطول محورين ثنائي التماثل هما، المحورات أ1، أ2.

فصـــيلة الثلاثي: المحور الثلاثي التماثل هو المحور ج، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور أ1، أ2، أ3.

فصيلة المعيني القائم: الثلاثة محاور الثنائية التماثل هي المحاور البلورية، وفي العادة يختار ج أطول من ب، وب أطول من أ.

فصـــيلة الميل الواحد : المحور الثنائي التماثل هو المحور ب، يختار بعد ذلك المحور ج موازيا لحروف أربعة أوجه متشـابهة تماما والتي تعتبر مكونة للشـكل المنوشـــري، وبعد ذلك يختار المحور أ موازيا للســـطحين الذين يقطعان أوجه المنشور بزاوية تقرب من القائمة.

فصيلة الميول الثلاثة: ابحث عن ثلاثة أزواج من السطوح المتوازية التي تتقاطع مع بعضـــها بزوايا تقرب من القائمة والتي تحد الفراغ كعلبة كبريت مشـــوهة، وتختار المحاور الببلورية موازية لهذه الأســـطح (كل محور موازي لمجموعتين من هذه المجموعات الثلاث) (كل مجموعة تتكون من ســـطحين). غالبا يكون ج>ب>أ.

الأوجه البلورية، التقاطعات، الاحداثيات، الأدلة

عندما نريد وصـف الأوجه البلورية فإنه يكون لزاما علينا أن نحدد مواضـع هذه الأوجه بالنسـبة للمحاور البلورية. فالذي يهمنا في الدراسـات البلورية هو اتجاه ميل الوجه وليس شـكله أو حجمه، وكما سـبق أن قلنا إنه ينتج من الاتجاهات الثابتة للأوجه زوايا ثابتة مميزة. تعرف باســم الزوايا بين الوجهية، فكذلك ينتج من اتجاه ميل وجه البلورة أن الوجه قد يقطع المحاور البلورية الثلاثة، أو يقطع محورين ويوزاي الثالث، أو يقطع محورا واحدا ويوازي الاثنين الآخرين. ويظهر كل تقاطع – بين الوجه والمحور البلوري – على مسافة معينة من مركز البلورة، وتعرف هذه المسافة التي يمكن قياسها بالمليمترات أو السنتيمترات باسم تقاطع الوجـه بـالمحور اللوري. وعلى هذا نجد أن في البلورات الكبيرة يكون التقـاطع أكبر منه في البلورات الصــغيرة. لأن قيمة التقاطع في هذه الحالة تتوقف على فرصـة البلورة في النمو وعلى ذلك نجد أنه من المستحب ومن الأفضـلأن نلجأ إلى طريقة لوصـف الأوجه البلورية لا تعتمد بالمرة على حجم البلورة الذي توجد عليه في الطبيعةز مثل هذه الطريقة موجودة، وفيها لا نستعمل المسافة المطلقة من المركز إلى الوجه وإنما المسـتعمل المسـافة النسـبية التي تقاس بالنسـبة إلى طول الوحدة على كل محور بلوري. هذا يعني أننـا لابد أن نختـار أولا وجهـا بلوريا يقطع جميع المحـاور الثلاثـة ويحدد ذلك طول اوحدة على كل من هذه المحاور ،ويعرف هذا الوجه باســم وجه الوحدة، وبعدج نلك يمكننا أن نعبر عن تقاطعات جميع الأوجه البلوريـة الأخرى في هيئـة نســبة إلى تقاطعات وجه الوحدة.

مثلا في بلورة لمعدن التوباز، فلوروسـليكات الألومنيوم، نجد أن تقاطعات وجه الوحدة، أ، ب، ج شـكل (32)، هي 1.354 مم، 2.562 مم، 1.242 مم على المحاول أ، ب، ج على التوالي. ولما كانت هذه الوحدات – مقاسـة على هذا النحو بالملليمترات – تدل على الحجم، وتتغير تبعا لتغيره، فإننا نتجنت استعمال مثل هذه الوحدات الحجمية. وذلك بأن نقسـم كل قيمة من قيم هذه التقاطعات على قيمة التقاطع على المحور ب، وينتج عن ذلك تقاطعات قيمة (بالنسبة إلى ب) بدلا من التقاطعات المطلقة، هكذا 2.562/1.354 = 0.528، 2.562/2.562= 1.00، 2.562/1.242= 0.477

وعلى ذلك يمكننا تعريف التقاطعات النسـبية بأنها عبارة عن التقاطعات الناتجة من قسـمة كل تقاطع على ب. وفي المثال المذكور تكون التقاطعات النسـبية هي 0.528:1:0.477. ولما كانت هذه النسـبة هي نسـبة طول الوحدات على المحاور البلورية كما حددها وجه الوحدة.

فإنها تعرف أيضا باسم النسبة المحورية (أي نسبة أ:ب: ج = 0.528:1:0.477). وهي نسـبة غير متسـاوية، أي أن بلورة التوباز تتبع إحدى الفصـائل التالية، المعيني القائم، أو الميل الواحد، أو الميول الثلاثة. ولكن لما كانت الزوايا المحورية الثلاثة قائمة، فالبلورة إذن تتبع فصيلة المعيني القائم. ونلاحظ في هذه الحالة أن المسـافات السـابق قياسـها للتقاطعات (بالمليمترات) قد تفاديناها باستعمالنا للنسبة التي يكون فيها تقاطع ب يساوي دائما 1 (واحد) (لأننا نقسم دائما المسافات المطلقة على مسافة ب لتنتج هذه النسبة).

أما احداثيات الوجه البلوري (البارامترات)، فهي عبارة عن رموز تدل على التقاطعات النسبية لهذا الوجه مع المحاور البلورية، أي نسبة التقاطعات النسبية لهذا الوجه إلى التقاطعات النسبية لوجه آخر.

احداثيات الوجه = التقاطعات النسبية لهذا الوجه/ التقاطعات النسبية لوجه آخر.

ولما كان وجه الوحدة قد أختير ليقطع المحاور البلورية عند أطوال الوحدة إن احداثياته تكون أ:ب:ج (مفهوم أن الرقم 1 يسبق كل من هذه الحروف لأننا لا نكتب 1أ:1ب:1ج).

هذه الأرقام الأخيرة 1.5: 1ب:2ج هي احداثيات الوجه الثاني هـ، ب، و، وعندما يكون الوجه البلوري موازيا لأحد المحاور البلورية، أي أنه لا يقطعه فإن الرمز ∞ (مالا نهاية) يستعمل في احداثياته.

الشكل البلوريCrystal form

ويتكون من مجموعة الأجوه البلورية المتشابهة (شكلا وحجما) الموجودة على نموذج البلورة. فمثلا البلورة يوجد بها شكل بلوري واحد فقط، أم البلورة فيوجد بها شكلان بلوريان، أما على البلورة الطبيعية (حيث الاوجة مشوهة) فيتكون الشكل البلوري من جميع الأوجه البلورية التي لها رمز واحد (مجموة الأحداثيات أوالدليل). وفي هذه الحالة يجب أن ندخل عناصر التماثل في اعتبارانا. أو بعبارة أخرى يتكون الشكل البلوري من مجموعة من الأوجه التي يستلزم وجودها عناصر التماثل في البلورة وذلك إذا وجد على البلورة وجه واحد من هذه الأوجه، فمثلا في بعض الفصائل البلورية ذات التماثل العالي نجد أن (111)، ($11\bar{1}$)

يتتبعان شـــكلا بلوريا واحدا، وفي فصـــائل أخرى ذات تماثل منخفض نجد أن (111)، $(11\bar{1})$ لا يتبعان شـكلا بلوريا واحدا. ولكن يتبعان شـكلين مسـتقلين. والســبب في ذلك أنه في الحالة الاولى يوجد مســتوى تماثل أفقي يعكس الوجه (111)، $(11\bar{1})$، أما في الحالة الثانية فلا يوجد مســـتوى تماثل أفقي وبذلك لا يرتبط الوجه (111) بالوجه $(11\bar{1})$ بآية رابطة، ويتبع الوجهان شكلين إثنين.

رمز الشكل: Form symbol

وهو عبارة عن دليل أحد أوجه الشكل البلوري الذي له أبسط علاقة مع المحاور البلويرة. ويكتب رمز الوجه بين قوسين صـغيرين هكذا () مثل (321)، أما رمز الشكل فيكتب بين قوسي كبيرين هكذا { }، مثل} 321.{

الشـــكل الكامل الأوجه :bolobedral form هو المجموعة الكاملة لجميع الأوجه الممكنة على البلورة التي لها نفس الأحداثيات والتي لها أوضــــاع هندســـية متشابهة بالنسبة للمحاور البلورية.

أما شـــكل نصـــف الأوجه :Bemibedral form فيتكون من نصـــف الأوجه التي يتطلبها التماثل التام، ويشتق من الشكل الكامل بأن يترك الأوجه المتبادلة.

الشكل المفتوح :Open form هو الشكل البلوري الذي لا تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثلته الأوجه الأربعة لشكل المنشور.

أما الشـكل المقفول :closed form فهو الشـكل البلوري الذي تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثلة الأوجه الستة المكونة لشكل المكعب.

مجموعات الأشكال:Combinations of form

في كثير من الحالات نجد أن الأوجه التي تظهر على البلورة لا تنتمي إلى شكل بلوري واحد، بل إلى عدة أشكال، أي أن هذه الأشكال تتكون مرة واحدة على البلورة، وفي هذه الحالة ينتج ما يعرف باسم مجموعات الأشكال.

فصيلة المكعب أو متساوي الطولCubic or Isometric System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاث محاور بلورية متساوية ومتعامدة، تمسك البلورة بحيث يكون أحد المحاور الثلاثة عموديا والثاني يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من الأمام إلى الخلف ولما كانت هذه المحاور الثلاثة متساوية في طول وحداتها متعامدة فإنه لا يمكن تمييز إحداها عن الآخر، ولذلك يرمز لها بالرمز أ.

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن سداسي الثماني الأوجه /34م 3 4 2 6 /م ن فلوريت CaF2 الأربعة وعشرون وجها مخمسا --6 2 4 3 3 4سداسي الرباعي الأوجه 4 3 3 4م 6 سفاليريت ZnS الإثناء عشر وجها مزدوجا / 3 2م 3 4 ن بيريت FeS2 رباعي الأوجه ذو الإثنى عشر وجها مخمسا 4 3 2 2كربالتيت CoAsS.

النظام العادي أو سداسي الثماني الأوجهNorma of Hexoctabedral

التماثل

قانون التماثل الكامل: 4 3/م 3 4 2 6/م ن

المحاور التماثلية: لبلورات هذا النظام 13 محورا تماثليا، أشكال (39، 40، 41) بيانها كالتالي: ثلاثة محاور رباعية التماثل، وهذه تنطبق على المحاور البلورية

أربعة محاور ثلاثية التماثل، وهي تميل على المحاور البلورية

ستة محاور ثنائية التماثل موجودة في المستويات التماثلية المحورية (المستويات التي تشمل المحاور البلورية) ومنصفة الزوايا التي بين المحاور البلورية

المستويات التماثلية : توجد في هذا النظام تسعة مستويات تماثلية. ثلاثة منها موازية لمستويات المحاور البلورية بوالتالي تكون متعامدة على هذه المحاور، هذه المستويات التماثلية المحورية، وهي تقسم الفراغ إلى ثمانية أجزاء متساوية يعرف كل جزء منها بالثمن. أما المستويات الستة الأخرى فإن كلا منها يوجد موازيا لاحد المحاور البلورية ومنصفا للزاوية التي بين المحورين الآخرين، وعلى ذلك فهي تقسم الفراغ إلى 24 جزءا متساويا، وتقسم المستويات التماثلية التسعة مكتملة الفراغ إلى 48 جزءا متساويا.

مركز التماثل: يوجد في هذا النظام مركز تماثلي، وينتج عن ذلك أن يكون لكل وجه بلوري وجه مقابل موازي له.

الأشكال البلورية:

تسمى الأشكال المكعبة بأسماء خاصة حسب عدد الأوجه التي تكون كل شكل.

ثماني الاوجه: يتكون هذا الشـكل البلوري – كما يدل عليه اسـمه – من ثمانية أوجه، كل وجه يميل ميلا متســـاويا على المحاور البلورية الثلاثة، وعلى ذلك تكون احداثياته هي 1:1:1 والدليل {111}. وكل وجه عبارة عن مثلث متســـاوي الأضلاع.

الإثناء عشــر وجها معينا : يتكون من إثني عشــر وجها، يقطع كل وجه إثنين من المحاور البلورية على نفس المســـافة، ويمتد موازيا للمحور الثالث، وعلى ذلك تكون الاحداثيات أ:أ:∞أ، والدليل هو {011}. وعندما يكون هذا الشـــكل نموذجيا نجد أن كل وجه عبارة عن معين متســاوي الأضـــلاع، وتمر المحاور البلورية بالزوايا المكونة من أربعة أوجه، أما المحاور الثلاثية فتمر بالزوايا الناتجة من تقابل ثلاثة أوجه، تصـــل المحاور ثمانية التماثل بين مراكز الأوجه المتقابلة.

سـداسـي الأوجه أو المكعب: تقطع أوجه هذا الشكل محورا بلوريا واحدا وتوازي المحورين الآخرين، وعلى ذلك تكون الأحداثيات أ: ∞أ: ∞أ والدليل هو {001}، ويكون شكل الوجه على بلورة نموذجية مربعا حيث تمر المحاور البلورية بمراكز هذه الأوجه أم المحاور الثلاثية التماثل الإثنى عشر حرفا بين هذه الأوجه حيث يصل كل محور بين منتصف حرفين.

ثلاثي الثماني الأوجه، تقطع أوجه هذا الشـــكل اثنين من المحاور البلورية على مســـافتين متســـاويتين. أما تقاطع المحور الثالث فعلى مســـافة أطول، تكون الأحداثيات إذا أ:أ:مأ، حيث م عبارة عن عدد نســبي أكبر من الواحد ولكن أقل من مالا نهاية.

وينتج عن ذلك أنت يكون الدليل {هـ هـ ل} حيث هـ >ل مثل {122}، ويتكون الشـــكل من أربعة وعشـــرين وجها، كل وجه منها عبارة عن مثلث متســـاوي الساقين.

الأربعة وعشرون وجها: (شبه المنحرف المكعبي)، يتكون هذا الشكل من أربعة وعشـــرين وجها، كل وجه عبارة عن شـــبه منحرف يقطع أحد المحاور البلورية على مسافة تساوي الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين متساويتين أكبر من الوحدة "م أ" حيث < ∞ م >ا، الأحداثيات هي 1: م 1: م 1، والدليل عو {هـــ ل ل} حيث هـــ >ل مثل {112}، وتصل المحاور البلورية بين الزوايا المكونة من ثلاثة أوجه، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تميل بين المحاور البلورية.

رباعي السداسي الأوجه، نجد في هذا الشكل البلوري أن كل وجه يقطع محورا بلوريا على مسافة تساوي الوحدة، والثاني على مسافة أكبر مقدارها م1 حيث ∞ >م >ا، ويوازي المحور الثالث. وتكون الأحداثيات إذا 1: م: 1∞، والدليل هو {هـــــ ل.} مثل {012}. ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها، موزعة بحيث تحل كل أربعة أوجه محل وجه في شكل سداسي الأوجه، ويكون كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين. وتصل المحاور البلورية في هذا لاشكل بين

الزوايا الســـت الناتجة من تلاقي أربعة أوجه لكل منها، بينما تصـــل المحاور ثلاثية التماثل بين الزوايا المكونة من ســـتة أوجه، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تصف الأحرف الطويلة.

سداسي الثماني الأوجه، يتكون هذا الشكل من 48 وجها، كل ستة أوجه تكونت مكان وجه من أوجه شكل الثماني الأوجه، ويقطع كل وجه أحد المحاور البلورية على مسـافة مقدارها الوحدة، والمحورين الآخرين على مسـافتين غير متسـاويتن نأ، مأ على التوالي، حيث ن أصغر من م، وحيث< ∞م <أ، إذا الأحداثيات هي (أ: ن أ: مأ)، والدليل هو {هـ ك ل}، حيث هـ <ك <ل مثل {123} أو {135}. وتمر المحاور البلورية بالزوايا الناتجة من تلاقي ثماني الأوجه، وكل وجه في هذا الشكل عبارة عن مثلث غير متساوي الأضلاع.

مميزات البلورات المكعبية

تتميز البلورات المكعبية غير المشـــوعة بتســـاوي أبعادها في اتجاهات ثلاثة متعامدة على بعضـــها البعض، وهذه الاتجاهات الثلاثة هي المحاور البلورية. وكذلك تتميز البلورات المكعبية جميعها بوجود أربعة محاور ثلاثية التماثل. وتظهر البلورات بعدد كبير من الأوجه المتشـــابهة إذ أن اقل عدد من الأوجه يتبع شكلا واحدا هو ستة في نظام سداسي الثماني الأوجه. وكل شكل بلوري يمكن أن يكون بلورة بمفرده، أي أنه عبارة عن شكل مقفول.

فصيلة السداسي Hexagonal System

المحاور البلورية

تشـــمل هذه الفصـــيلة جميع البلورات التي لها أربعة محاور بلورية، ثلاثة منها متساوية في الطول وتقع في مستوى فقي وتتقاطع بزوايا قدرها 120 جرجة، أما المحور الرابع فمختلف عنها في الطول (إما أن يكون أطول أو أقصــر)، ويمتد رأســـيا (أي متعامدا على المحاور الأفقية)، ويرمز إلى المحاور الأفقية بالرموز أ1، أ2، أ3، أما المحور الرأسي فهو المحور ج.

ولما كانت فصــــيلة الثلاثي لها نفس العدد من المحاور البلوريـة، فإن بعض المؤلفين يضــم البلورات الثلاثية والدســاسـية في فصــيلة واحدة هي فصــيلة لاســداســي، ولكن نظرا للفارق الأســاســي في البناء الضـري، وهو أن المحور الأساسي للتماثل هو سداسي في بلورات السدسي وثلاثي في بلورات الثلاثي، وأن بلورات الثلاثي لا تحتوي على مســتوى تماثل أفقي بالمرة، فإننا نجد أنه من الأكثر صوابا أن ندرس البلورات السداسية كفصيلة بذاتها، مستقلة عن فصيلة الثلاثي التي تشمل البلورات الثلاثية.

وتعرف نسبة طول الوحدات على المحور ج إلى أ بالنسبة المحورية ج:أ، وهي مميزة لكل بلورة ســداســية. فمثلاة بلورة معدن بيرل لها نســبة محورية ج:أ = 0.996، أما في معدن بيروتيت فنجد أن النسبة المحورية ج:أ = 1.650.

وتمسك البلورة السداسية بحيث يكون المحور الرأســي ج دائما محورا سداسـي التماثل (دوراني أو انقلابي). ويمتد المحور أ2 موازيا لماســك البلورة من اليمين

(+) إلى اليســار (−). أما المحور أ1، فيمتد من الأمام ناحية اليســار (+) إلى الخلف ناحية اليمين (−). أما الطرف الموجب من المحور أ3 فيقع في الخلف إلى اليسار بينما طرفه السالب يقع في الأمام إلى اليمين.

النظام العددي أو نظام الهرم المنعكس الســداســي المزدوج Dihexagonal Bipyramidal Class

التماثل

قانون التماثل الكامل: 6/م 2 3/م 2 3/م ن،

المحاول التماثلية: المحور ج هو محور ســداســي التماثل. وتوجد ثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية أ. وكذلك توجد ثلاثة محاور أخرى ثنائية التماثل تنصف الزوايا بين المحاور البلورية أ1، أ2، أ3،

المستويات التماثلية: يوجد في هذا النظام سبعة مستويات تماثلية بياتها كالآتي،

مستوى تماثل أفقي يشمل المحاور البلورية ثلاثة مستويات تماثلية رأسية يشمل كل منها المحور الرأســـي ج وأحد المحاور البلورية الأفقية. ثلاثة مســـتويات تماثلية رأسية تنصف الزوايا بين المستويات الرأسية السابقة (المستويات التماثلية المحورية).

مركز التماثل: يوجد مركز تماثل في بلورات هذا النظام ويتطلب أن يكون لكل وجه وجه آخر مقابل له.

ملاحظة: سوف نستعمل كلمة مزدوجdi ، مثل سداسيdihexagonal ، لوصف الأشكال التي تتكر أوجهها اثنين اثنين حول المحور التماثلي، أما الأشكال التي تتكرر أوجهها بالنسبة للمستوى التماثلي فسوف نصفها بكلمة منعكسbi ، مثل هرم منعكسbipyramid ، نسبة إلى الانعكاس خلال مستوى التماثل الأفقي.

الأهرامات المنعكسةbipyramids ، وهي عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور ج بصفة أساسية وبعض أو كل المحاور الأفقية. توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة السداسية.

هرم منعكس سداسي من الرتبة الأول (أو هرم منعكس وتري، يتكون هذا الشكل من 12 وجها لها الأحداثيات (أ: ∞ أ : أ: م ج). أو بمعنى آخر تقطع محورين متجاورين أ (تصل بينهما مثل الوتر) ، وتمتد موازية للمحور الأفقي الثالث وتقطع المحور الرأسي ج فإذا كان التقاطع على المحور ج مساويا لطول الوحدة فإن الدليل يكون في هذه الحالة {1101}، وهذا هو هرم الوحدة .Unit pyramid أما الدليل العام لهذا الشكل فهو {هـ هـ ل.{

هرم منعكس سداسي من الرتبة الثانية، ويختلف هذا الشكل عن الهرم المنعكس السداسي من الرتبة الأولى في أنه عندما تمسك البلورة في القراءة الصحيحة (المحور أ2 دائما موازي لماسك البلورة)، فإنه يوجد في مواجهتك حرف وليس وجه بلوري، وهذا يعني أن المحاور البلورية الأفقية عمودية منصفة للأحرف الأفقية (ويسمى لهذا السبب بالهرم المنعكس المتعامد) أن كل وجه بلوري في

هذا الشـــكل يقطع أحد المحاور البلورية الأفقية في مســـافة الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مســافتين أطول، ولكن متســاويتين، وتكون الأحداثيات إذن (ن أ: ن أ : أ : م ج) والدليل هو {هـ هـ 2 هـ ل}، ويتكون هذا الشكل من 12 وجها في هيئة مثلثات متساوية الساقين تقفل الفراغ.

المنشوراتPrisms ، وهذه عبارة عن أشكال مفتوحة يوازي الوجه فيها المحور ج ويقطع بعض أو كـل المحـاور الأفقيـة أ2، أ2، أ3. وهنـاك ثلاثـة أنواع من المنشورات تقابل الأنواع الثلاثة من الأهرامات سالفة لاذكر.

منشور سداسي من الرتبة الأولى (منشور سداسي ولري)، يمكن الحصول على أوجه هذا الشـكل من أوجه الهرم المنعكس الذي له نفس الرتبة (الأولى في هذه الحالـة) إذا جعلنا التقاطعات على المحور ج تأخذ أكبر قيمـة لها، أي قيمة مالانهاية. وينتج عن ذلك أن نختزل أوجه الهرم المنعكس الاثنتا عشر إلى ستة أ,جه فقط، يقطع كل وجه منها محورين أفقيين في مسـافة تسـاوي الوحدة ويمتد موازيا للمحور الأفقي الثالث،، يوزاي المحور ج، (المنشـــور بحكم تعريفه يوازي المحور ج). ويكون هذا المنشور شكلا مفتوحا وفيه تصل المحاور الأفقية أ بين منتصـف الحروف المتقابلة، وينتج عن ذلك أن يكون في مواجهة ماسـك البلورة وجها بلوريا. الأحداثيات (أ: ∞ أ: أ : ∞ ج.)

المســـطوح القاعدي: وهو عبارة عن شـــكل مفتوح مكون من وجهين، كل وجه يقطع المحور ج ويوزاي المحاور الأفقية أ. والأحداثيات (∞ أ : ∞ أ: ∞ أ: ج) والدليل هو {1000}. يرى المســـطوح القاعدي في الأشـــكال (62، 64، 68) مجموعات مع المنشورات.

مجموعات الأشكال:

توجد على بعض البلورات مجموعة من الأشـــكال البلوريـة المختلفة فمثلا في بلورة بيريلBeryl ، توجد مجموعة من هرم منعكس سـداسـي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية، ومنشــور ســداســي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية، ومسطوح قادعدي. نلاحظ مجموعة أخرى من الأشكال على بلورة أخرى لمعدن البريل.

أمثلة من المعادن: يتبلون معدن بيريل(Be3Al2Si6O16) Beryl ، 71) في هذا النظـام الكـامـل التمـاثـل. كـذلـك يتبلور في هـذا النظـام معـادن مولبـدينيـت Molybdenite (MoS2)، بيروتيت.Pyrobotite (FeS)

مميزات البلورات السداسية:

تتميز جميع البلورات الســداســية غير المشــوهة في النظام كامل التماثل وفي معظم النظم الأقل تماثلا بالمظهر السـداسـي حيث يكون المحور الرأسـي محورا دورانيا سـداسـي التماثل. ولكن في نظامين فقط قد تبدو البلورات ثلاثية المظهر حيث يكون المحور الرأسي محورا انقلابيا سداسـي التماثل، وفي هذين النظامين يكون هناك دائما مستوى تماثل أفقي يعكس (أو يكرر) الأشـكال البلورية العليا إلى أشـكال بلورية سـفلى (في النصـف الأسـفل للبلورة) [المعروف أن المحور الانقلابي السداسي يعادل محور دوراني ثلاثي متعامد على مستوى تماثل]. كما تتميز البلروات بأن أوجه الأشكال البلورية (باستثناء المسطوح القاعدي)، تتكون عموما من ستة أوجه أو مضاعفات العدد ستة.

فصيلة الرباعيTetragonal System

المحاور البلورية: تشــمل هذه الفصـــيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة، إثنان منها متساويان في الطول ويقعان في مستوى أفقي والثالث مختلف عنها في الطول (إما أقصـــر أو أطول) وعمودي عليهما. ويرمز إلى المحورين المتساويين بالمرز أ1، أ 2، أما المحور الرأسي فيرمز إليه بالرمز ج.

وتعرف نســـبة طول الوحدة على المحور ج إلى طول الوحدة على المحور أ بـالنســـبـة المحوريـة ج:أ، وهي مميزة لكل بلورة ربـاعيـة. فمثلا بلورة معدن كاســيتريت(SnO_2) Vassitetite ، لها نســبة محورية ج: أ = 0.672 (أي ج أقصــر من أ)، وفي الزركون($ZrSiO_4$) Zircon ، ج: أ = 0.891 أما في معدن أناتيز (TiO_2) Anatase ، فنجد أن نســـبة ج:أ = 1.777 (أي ج أطول من أ). وتمســـك البلورة الرباعية بحيث يكون المحور الرأســـي ج دائما محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي).

وتشمل فصيلة الرباعي سبعة نظم بلورية (مثل فصيلة السداسي)، كما يلي في

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس الرباعي /4م 2 4/م ن الزركون $ZrSiO_4$ شــبه منحرف الأوجه الرباعي 2 2 2 2 4فوســجينيت ($PbO)_2CCl_2O$الوتد المنعكس الرباعي 2 2 2 2 4كالكوبيريت $CuFeS_2$ الهرم الربـاعي المزدوج 4م 2 م 2 ديـابوليـيـت $PhCuCl_2(OH)_4$ الهرم المنعكس الرباعي /4م ن شـــيليت $CaWo_4$ الوتد الرباعي 4كاهنيت الهرم الرباعي 4 ولفينيت$PbMoO_4$

فصيلة المعيني القائمOrthohombic System

تشـــمل هذه الفصـــيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور متعامدة وغير متساوية، ويمتد المحور ج راسيا، بينما يمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار، أما المحور أ، فإنه يتجه من الأمام إلى الخلف، ولا يوجد محور أساسي في هذه الفصـيلة، بمعنى أن أي محور يمكن أن يختار ليكون المحور ج. وعادة نختار ج أطول من ب، ب أطول من أ. وتتكون النســبة المحورية إذن من قيم ثلاث. فمثلا في بلورة الكبريت أ: ب: ج = 0.813: 1: 0.903، أما في معدن سلستيت، فنجد أن النسبة أ: ب: ج = 0.9: 1: 1.280.

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس المعيني القائم 2 /3م ن باريت Barite $BaSO_4$ الوتد المعيني القائم 3 2ابسوميت $MgSO_47H_2O$ الهرم المعيني القائم 2م م هيميمورفيت$Zo_4(OH)_2Si_2O_7H_2O$

نظام الهرم المنعكس المعيني القائمOrthorhombic Bipyramidal system

التماثل:

قانون التماثل: 2/م 2/م 2/م ن، أو 2 3/م ن،

المحاور التماثلية: يوجد ثلاث مســـتويات تماثلية، إثنان منها رأســـيان والثالث أفقي، ويشمل كل منها محورين بلوريين،

مركز التماثل: موجود أيضا في بلورات هذا النظام.

الفصل الرابع

عمل الصخور

علم الصخور

هو العلم الذي يدرس الصخور من حيث نشأتها وطريقة تكونها ومعرفة محتواها والعوامل المؤثرة. كما يهتم علم الصخور بدراسة كيفية تكونها ونموها وكيفية استقرار مجالها المغناطيسي المصاحب للمجال المغناطيسي للأرض.فمن الصخور عدة أنواع منها: الرسوبية، والنارية، والمتحولة.

تتكون الصخور اما عن طريق البراكين Volcanic Rocks وهى التى تتكون مع برود الصخور الصهارية على سطح الارض، او Plotonic Rocks وهى التى تتكون مع برود الصخور الصهارية داخل الارض (الطبقات الاولية لسطح الارض). وعند تصنيف هذه الصخور يلاحظ مدى كبر حجم الحبيبات المكونة لها فإذا كانت كبيرة فإنها تكون Plotonic Rocks اما إذا كانت ذات حبيبات صغيرة فإنها تكون .Volcanic Rocks ويعتمد تصنيف الصخور بعد معرفة اذا كانت Volcanic or Plotonic على عدة عوامل وهى:

- الوان المعادن المكونة لها.
- حجم الحبيبات المختلفة للمعادن.
- النسبة بين العادن المختلفة المكونة لها.
- معرفة المعادن المكونة لها (سيتم التوضيح فيما يلى).
- تحديد نوع الصخور المراد معرفتها.

في الستينيات من القرن العشرين الميلادي اقترح علماء الأرض نظرية تكتونية تضمنت فكرتين سابقتين هما الزحف القاري وتيارات الحمل. وقادت هذه النظرية

الجديدة كثيرا من العلماء للاســتنتاج بأن قشـــرة الأرض الخارجية والمســماة بالليثوسـفير تشـتمل على عدد من الطبقات الصــلبة. وأن بعض هذه الطبقات لاتتبع الحدود القارية، بل إن بعضــها يضـم كلا من القارات والمحيطات. وتبلغ ســماكة قشـــرة الأرض الخارجية حوالي 70 إلى 150كم، ويبدو أنها في حالة حركة دائمة. وتنزلق طبقات الليثوســفير ببطء على طبقة بلاســتيكية لينة من صخور اسمها الغلاف الطيع. وتتحرك الطبقات لمسافة 1,3 إلى 10 سم سنويا.

ويبدو أن النشــاط التكتوني يحدث أســاســاً على امتداد أطراف الطبقات. وإذا ضــغطت إحدى الطبقات على الأخرى فإن الطبقة المضــغوطة إما أن تتجعد لتكوّن الجبال، أو تنثني إلى أســفل داخل الوشـــاح وهي الطبقة التي تأتي بعد القشرة، وفوق جوف الأرض. وهذه الطبقات المنثنية إلى أسفل والمسماة مناطق الطرح تولد الزلازل والنشـــاط البركاني. وهناك طبقتان من الأرض تنتشـــران مبتعدتين عن بعضـهما بعضًا وتشكلان أرضيات المحيط وسلسلة جبال طويلة تحت الماء تسمى الحيود المحيطية. وتحدث الزلازل الكبرى والشقوق في غطاء الأرض الخارجي عندما تنزلق طبقتان نحو بعضــهما. وتســمى هذه الشــقوق الصدوع.

وبعض ظواهر قشـرة الأرض الرئيسـية تحدث على أطراف طبقات الليثوسـفير. ومثل هذه الظواهر تضـم الجبال وأخاديد قاع المحيط، وسـلاسـل تلال المحيط، والبراكين، والجزر البركانية المسماة أقواس الجزر.

ويعتقد معظم علماء الأرض أن تيارات الحمل هي التي تخلق القوة التي تحرك الطبقات العملاقة. وعملا بهذه النظرية فإن تيارات الحمل التي توجد في غلاف

الأرض تحمل الصخر المنصهر من الغلاف الطيع إلى أعلى. والصخر المنصهر في صعوده يضيف إلى قاع المحيط في بعض تلال المحيط. وتيارات الحمل الحراري التي توجد في الصخور تحمل الطبقة القشرية المكونة حديثا على الغطاء الخارجي بعيدًا عن تلال المحيط كأنما هي محمولة على السير الناقل.

وقد رفض بعض العلماء الأجزاء المختلفة لنظرية تيارات الحمل هذه، بل إن علماء آخرين يطالبون بالبرهان الدال على وجودها نفسه وعلى أنها تنتج القوة الهائلة الكافية لتحريك الطبقات الأرضية.

تأثير المناخ في تكوين الصخور (العوامل السطحية)

تتشقق الصخور المعرضة للتبدلات الحراري، وتتقشر قشرتها بالتجوية في الصحارى الحارة أو الجبال الشاهقة أو في تربة المناطق المعتدلة أو المدارية متفاوتة السماكة والتركيب، إذ تتشكل تربة رخوة القوام سهلة الانتقال بالرياح السطحية والمياه الجارية، ويمكن للجليد اقتلاعها كلياً أو جزئياً. ويستطيع الجليد بتماسكه أن ينقل قطعاً كبيرة الحجم كنقله للأجزاء الناعمة. وتنخدش المواد المنقولة بالجليد، كما تقوم بصقل القاعدة الصخرية التي تنتقل عليها. إلا أنها تحتفظ بأشكال زاوية حادة. وتشهد المورينات moraines (ركام جليدي، وهو ما تجرفه الانزياحات الجليدية من حتات صخري في أثناء حركتها. وهناك مورينات جبهية وجانبية وسفلية) المستحاثة والركام الجليدي العائد للحقب الأول في القارة الإفريقية على مناخ جليدي، وتدل على تجلد قاري قديم. أما المياه فهي أكثر انتقائية، إذ تقوم بعملية الفرز في أثناء النقل.

وتصنف الرواسب تبعاً للكثافة والحجم. وتكون المواد المنقولة بالماء مصقولة وذات بريق وموجهة بالتيارات التي يمكن إعادة بنائها بعد عدة ملايين أو مليارات السنين. وتعكس التوضعات الحولية المؤلفة من تطبق مستويات كوارتزية بيضاء وغضارية قاتمة تعاقب فصول الشتاء والصيف. ويزداد فعل الاصطفاء بالرياح حيث تكون الغباريات والرمال الناعمة المنتزعة من المورينات والترب واللحقيات مصنفة بشكل مثالي. ويستثنى من ذلك توضعات اللوس loose راسب فتاتي غير متماسك وغير متطبق، غالباً ما يتكون من غضار رملي وكلسي لا تتجاوز أبعاد عناصرها بضع ميكرونات، وهو راسب صحراوي الأصل، ويعرف أيضاً باسم الليمون limon ويحيط برواسب الجليديات (والكثبان القديمة، بسبب كون هذه المواد أكثر هشاشة من توضعات الجليد والمياه الجارية. لذلك يجب دراسة حبات الرمال بدقة وتفصيل للعثور على شواهد تدل على انتقالها بالرياح. وتمكن العلامات التي تحملها التضاريس والحصى والقطع المعرضة للنقل بالرياح من تحديد اتجاه الرياح المسيطرة منذ أكثر من 200مليون سنة. وتنتقل العناصر التي ينتزعها الماء من فلزات ترب المناطق المعتدلة والمدارية على شكل محاليل ومواد معلقة. ويرتبط تثبيت هذه العناصر بفعل الكائنات الحية أو بترسبها في شروط مناخية محددة. وتدل الأرصفة (الشعاب) المرجانية التي تشكلت في الماضي، كما في أيامنا الحالية، على مياه صافية قليلة العمق غنية بالمواد العضوية. أما تراكمات الجص والملح الصخري فهي تشير إلى أحواض شاطئية أو قارية حيث يشتد البخر.

وهكذا يقود فرز المواد في أثناء عملية التحلل المائيhydrolysis ، بمساعدة شروط ترسيبية معينة، إلى تركيز العناصر ضمن الرواسب. لكنه يترك في المكان عناصر أخرى،كالألمنيوم Al^{3+}الذي يضاف إليه الحديد Fe^{3+}في شروط مؤكسدة. وليس لتراكيز هذه العناصر المتسلسلة فائدة تطبيقية فقط، وإنما تدل أيضاً على شروط محددة في مناخات سادت قديماً. ومن المعلوم أن عنصر الألمنيوم كان يتركز في دور الكريتاسي في جنوبي فرنسا، كما يتركز اليوم في الكمرون أو في غينيا .ويترك سقوط النيازك على سطحالأرض آثاراً مميزة ومبعثرة. ولم تُحصَ في حقب طويلة سوى الآثار البنيوية وآثار الحفر والحواف ومواقع الصدم.

تأثير العوامل الداخلية في تكوين الصخور

يحمل المهل magma إلى سطح الأرض محتويات الأعماق. وتقدم حالتُها وتركيبها ودرجة حرارتها والغازات المنبثقة عنها معلومات عن الأعماق التي قدمت منها، وبتبردها تتحول إلى بلورات ومواد زجاجية. والزجاج هو الطور السائل المتصلب، ويعد وجوده دليلاً قاطعاً على مروره بالحالة السائلة. أما البلورات فتؤلف عموماً مجموعتين: الميكروليتات التي يمكن رؤيتها بالمجهر فقط، والبلورات الضخمة التي ترى بالعين المجردة. وتتشكل الميكروليتات في أثناء التبرد متزامنة مع تشكل الزجاج، في حين بينما تدل البلورات الضخمة على مراحل تبلور سابقة يسمح تحليلها بدراسة حالات التوازن بين البلورات والسوائل. وهكذا تمكن دراسة الفلزات، التي يتفاوت تركيبها بين مكوّنين اثنين وعدة مكونات، من استنباط الشروط التي مرت بها. أما بعض الفلزات

minerals، كالبلاجيوكلازات plagioclases فإن الاختلاف في تركيبها ينعكس تبايناتٍ واضحة جداً في الخصائص الضوئية، مما يسمح بالتنبؤ والاقتراب الصحيح من تراكيبها. إلا أن المؤشرات التي يقدمها التحليل الضوئي ليست كافية لتحديد الزجاج ومجموعات فلزية أخرى كالبيروكسين pyroxenes والغرينات grenates. هذه الفلزات هي الحقل التطبيقي المفضل للمسبار الإلكتروني electronic probe، وتسمح دراسة تمنطقاتها، الدالة على وجود توازنات بين البلورات والسوائل، بتعميم الشروط التي مرت بها على فلزات الصخور المغماتية magmatic المبلورة كلياً.

من ناحية أخرى فإن التركيب العام للفلزات المتأخرة التبلور يقدم فكرة عن مراحل تطور هذه الصخور. وتمكن الفلزات الميكروبغماتيتية (كوارتز وصفاح قلوي) لصخور الدولوريت dolerite وفلزات البيوتيت لصخور البازلت القلوية من استنتاج الاختلافات التي تقود تدريجياً إلى تشكل الفونوليت والريوليت. وتقدم التراكيب العامة للصخور المغماتية معلومات مفيدة للغاية عن أصل السوائل التي نشأت انطلاقاً منها، ومعرفة تاريخ الصخر بدءاً من اللحظة التي تبلور فيها كلياً أو جزئياً. تقبل معظم الفلزات أشكالاً مختلفة تبعاً للشروط الفيزيائية السائدة، ويحتفظ بعضها بدلالة التطور وهي في الحالة الصلبة. وهذه هي حالة الصفاح القلوي الذي يشكل في درجات حرارة مرتفعة محلولاً متجانساً اعتباراً من الأورثوز orthose ($KAlSi_3O_8$) حتى الألبيت.albit ($NaAlSi_3O_8$) وحين تنخفض درجة الحرارة تظهر البرثيتات perthites التي تنبئ بتوزع المكونات في طورين متمايزين وبالطريقة ذاتها، تستطيع أيونات الحديد الصغيرة Fe^{2+}

والمغنزيوم Mg^{2+} وأيونات الكالسيوم الضخمة Ca^{2+} أن تدخل في شبكة البيروكسين، لكنها تنفصل في درجات الحرارة الأخفض وتتوضع في أطوار منفصلة. وتحمل الصخور المتحولة أيضاً أثر الظروف التي مرت بها والتي يمكن كشفها بملاحظة تغيرات تركيب فلز ما ضمن سلسلة من سحن (هيئات) هذه الصخور. ففلزات الأمفيبول مثلاً تتدرج في ألوانها من الأخضر إلى البني وتسلك بذلك سلوك مؤشرات لونية. وتسمح المعرفة التجريبية المتزايدة الدقة لأشكال الفلزات والتفاعلات فيما بينها بتفسير التجمعات الفلزية الطبيعية وفهم مدلولاتها.

تحمل الصخور في ثناياها أثر حركة مكوناتها قبل تبلورها وفي أثنائه وبعده. وفي المهل تأخذ البلورات اتجاهات معينة، كما هي حال مواد عائمة في مياه جارية ويمكّن تحليل هذه الاتجاهات من إيجاد البنية الداخلية للأجسام الاندفاعية العميقة (المندسة) والصبات البركانية (السطحية)، حيث يسمح توجه فلزات الميكا السوداء (البيوتيت biotite) داخل طية بتمييز جيلين منها: الأول سابق للطي نتيجة وجود هذه الفلزات في أسرّة مشوهة بفعل الطي، والثاني معاصر للطي وذلك لارتصاف الفلزات وفق المستوى المحوري للطية. وعلى هذه الدرجة من التحليل تلتقي البترولوجيا مع مفهوم التكتونيك الدقيق (الميكروتكتونيك).

الفصل الخامس

طبقات الأرض

طبقات الارض

يعتبر كوكب الأرض من كواكب المجموعة الشمسية وهو الكوكب الثالث الذي يأتي بعد عطارد والزهرة، وقد يطلق عليه بالعالم أو اليابسة، ويعتبر كوكب الأرض الوحيد المعروف الذي يوجد عليه حياة والذي يعيش عليه كائنات بملايين الانواع، وعمر تكوّن الأرض ما يقارب 4.54 مليار سنة، وقد ظهرت الحياة عليه في المليار الاخيرة والتي تكوّن فيها الغلاف الجوي وطبقة الأوزون ووجود الاكسجين مما جعل العيش على كوكب الأرض ممكن لجميع الكائنات الحية. وجود الخصائص الفيزيائية لكوكب الأرض والمدار الفلكي المناسب جعل هذا الكوكب وجود الدفء والطاقة ووجود الماء الى نشأة الحياة، ويعمل المجال المغناطيسي على إبعاد الجزيئات (الجسيمات) الأولية القادمة من الشمس والتي بدورها لا تؤدي الى تضرر الكائنات الحية، ويقدر عمر الأرض القادم بحوالي 1.2 مليار سنة قادمة. تعريف كتلة الأرض تعتبر الكتلة بشكل عام هو المقدار الفيزيائي، ويعرّف أيضاً بمقدار ما يحويه الجسم من مادة، وهي تختلف إختلاف كلي عن مفهوم الوزن، ويقاس الكتلة بوحدة ب الغرام والكيلو غرام، وهي عبارة عن كمية المواد الموجودة في المادة وهو مقدار ثابت لا يتغيّر مع تغيّر الزمن، ولكن يستخدم أحيانا بمعنى الوزن في الحياة العملية ولكن بالمفهوم العلمي تشير الى خصائص أخرى.

تقع بنية الطبقات الداخلية للأرض في شكل كروي، مثل البصل، هذه الطبقات يمكن تعريفها من قبل خصائصها الكيميائية أو الريولوجية. لدي الأرض القشرة الخارجية الصلبة، وشاح عالي اللزوجة، واللب الخارجي السائل الذي هو أقل

بكثير من لزوجة الوشاح، والنواة الداخلية الصلبة، ويستند الفهم العلمي للبنية الداخلية للأرض على ملاحظات طبوغرافية و قياس الأعماق، والملاحظات تأتي من نتوء الصخور، و جلب عينات إلى السطح من أعماق أكبر من خلال النشاط البركاني، وتحليل الموجات الزلزالية التي تمر عبر الأرض، وقياسات لحقل الجاذبية الأرضية، والتجارب مع المواد الصلبة البلوريه في الضغوط و درجات الحرارة من بنية الطبقات الداخلية.

يمكن تعريف بنية الأرض بطريقتين: من خلال الخواص الميكانيكية مثل الريولوجيا، أو كيميائيا ، ميكانيكيا: فإنه يمكن تقسيمها إلى الغلاف الصخري، وشاح، اللب الخارجي، والنواة الداخلية، كيميائيا: فإنه يمكن تقسيم الأرض إلى القشرة، الوشاح العلوي، الوشاح السفلي، اللب الخارجي، والنواة الداخلية.

اللب الخارجي :

متوسط كثافة الأرض هو 5،515، بينما متوسط كثافة المواد السطحية حوالي 3،000 و تظهر القياسات الزلزالية أن اللب الخارجي ينقسم إلى قسمين وهما النواة الداخلية "الصلبة " و اللب الخارجي "السائل"

تم اكتشاف النواة الداخلية في عام 1936 من قبل ليمان إنجي ويعتقد عموما أنها تتألف أساسا من الحديد و النيكل و تظهر الدراسات التجريبية الأخرى التناقض تحت ضغط عال، أن ذوبان من شأنه ان يسبب كثافة المواد لإغراق نحو الوسط في عملية تسمى تمايز الكواكب في حين أن المواد الأقل كثافة قد

هاجرت إلى القشـــرة، و هكذا يعتقد أن الجوهر إلى حد كبير يتألف من الحديد بنســبه 80% جنبا إلى جنب مع النيكل في حين أن عناصـــر الكثافه الأخرى، مثل الرصـــــاص واليورانيوم، إما نادرة جدا أو تميل إلى الربط مع المواد الأقل كثافة التى قد هاجرت إلى القشـرة، اللب الخارجي السـائل يحيط النواة الداخلية، ويعتقد أن تكون مؤلفة من الحديد مختلطا مع النيكل و كميات ضـــئيلة من العناصر الأخف، وتشير التكهنات الأخيرة أن الجزء الأعمق من اللب الخارجي غني بالذهب والبلاتين و العناصـــر الأخرى، وتقترح نظرية الدينامو أن الحمل الحراري في اللب الخارجي، جنبا إلى جنب مع تـأثير كوريوليس، يؤدي إلى المجال المغناطيســـي للأرض، ولكن ربما يعمل على تحقيق الاســـتقرار في المجال المغناطيسـي الناتجة عن اللب الخارجي السـائل، و يقدر متوسط شدة المجال المغناطيسي في اللب الخارجي للأرض لتكون 25 غاوس، 50 مرة أقوى من الحقل المغناطيسـي للأرض على سـطح، واقترحت الأدله الحديثه أن النواة الداخلية للأرض قد تدور أســـرع قليلا من بقية الكوكب ومع ذلك، المزيد من الدراسات الحديثة في عام 2011 وجدت هذه الفرضية ليست حاسمه حيث تبقى الخيارات للب الخارجي والتي قد تكون متذبذبة في الطبيعة وفي أغسطس 2005 فريق من الجيوفيزيائيين أعلن في مجلة ساينس العلمية أنه وفقا لتقديراتهم، تدور النواة الداخلية للأرض حوالي 0،3-0،5 درجة سنويا بالنسبة إلى دوران السطح، التفســـير العلمي الحـالي لتـدرج درجـة الحرارة الأرض هو مزيج من الحرارة المتخلفة عن تكوين الكوكب الأولى، اضمحلال العناصر المشعة، وتجميد النواة الداخلية.

الوشاح :

الوشـــاح يمتد إلى عمق 2,890 كم، مما يجعلها طبقة ســـميكة من الأرض، الضـــغط في الجزء الســـفلي من الوشـــاح هو ~ 140 بمقياس برنامج العمل العالمي، ويتكون الوشاح من المواد التي هي غنية بالحديد والمغنيسيوم بالنسبة إلى القشـرة الفوقية، على الرغم من صـلابتها، لكن ارتفاع درجات الحرارة داخل الوشـــاح تدفع المواد بما فيه الكفاية بأن تجعلها تتدفق على فترات زمنية طويلة جدا. الحمل الحراري من الوشـــاح ينعكس على الســـطح من خلال الصـــفائح التكتونية. نقطة انصـهار واللزوجة من المادة يعتمد على الضـغط الذي تتعرض له، كما أن هناك كثافة وزيادة الضغوط مع بعضهما يؤثران في أعماق الوشاح، والجزء السفلي من الوشاح يتدفق بشكل اقل سهولة من الوشاح العلوي.

القشرة الخارجية الصلبة:

تتراوح القشــرة 5–70 كم (3–44 ~ ميلا) في العمق و الطبقة الخارجية القشــرة المحيطيـة هي أجزاء رقيقـة، التي تكمن وراء أخواض المحيطـات وتتكون من كثافة (المغنسيوميه) سيليكات المغنيسيوم و الحديد و الصـخور البركانية، مثل البازلت، القشـرة القارية هي قشـرة أكثر سمكا، والذي هو أقل كثافة و تتألف من (السيليكا) سيليكات الألومنيوم الصـخور البوتاسيوم الصـوديوم، مثل الجرانيت، تسقط القشرة في فئتين رئيسيتين – سيال و سيما. تشير التقديرات إلى أن سيما تبدأ تحت الانقطـاع كونراد بحوالي 11 كيلومترا، هنـاك انقطـاع في ســـرعـة الزلزالية، والذي يعرف باســم الانقطاع موهو. ويعتقد أن ســبب موهو أن يكون هناك تغيير في تركيبة الصـــخور من الصـــخور التي تحتوي على الفلســـبار

بلاجيوجلاز إلى الصخور التي لا تحتوي على الفلسبار، العديد من الصخور التى تمثل قشرة الأرض تشكلت قبل أقل من 100 مليون سنه وهذا ما يوضح صلابه القشره الخارجيه للارض.

قال تعالى لك {الله الذي خلق سبع سموات ومن الأرض مثلهن } صدق الله العظيم.الأرض شكلها وطبقاتها وتكوينها : خلق الله الأرض وأبدع خلقه وهناك عدّة طبقات للأرض سنعرضها هنا. تتألّف الأرض من سبع طبقات تم تثبيتهم علمياً من قبل العلماء وتكون هذه الطبقات فوق بعضها البعض، أول طبقة هي القشره الأرضية ويليها الغلاف الجوي وثلاث طبقات نطاق الضعف الأرضي والوشاح الأعلى والوشاح الأدنى و ثم النواة الخارجية والداخلية بهذا تكون سبعة طبقات وتختلف طبقات الأرض من حيث الكثافة والشكل ودرجات الحرارة والسماكة. القشرة الأرضيّة : وهي القشرة الرقيقة الهشة والمكونة لسطح الأرض وهي الجزء الأبرد من كوكبنا والتي تنقسم إلى قسمين هما 1. القشرة المحيطة وهي التي تمتد 10 كيلو مترات وتتكون نتيجة النشاط البركاني، 2. القشرة القاريّة وهي القشرة التي تمتد 50 كيلو مترات وتتكون من الصخور البلورية والمعادن ذات الكثافة المنخفضة وتمثل الجزء الخارجي للأرض. الوشاح وهي الطبقة الثانية التي تلي القشرة الأرضية وينقسم الوشاح إلى قسمين : الوشاح العلوي وهو الذي يلي القشرة مباشرة ويفصل بينه وبين القشرة فاصل يسمى (موهو) ويحدث عند الفاصل بينهما احتلاف في الصخور بين صخور القشرة والوشاح ويكون بعمق من 10 إلى 400% من عمق الأرض،وتتكون قشرة الوشاح من الأجزاء التي خفرت من الجبال والنفجارات البركانية والتي تمثل

المعادن، ويوجد هناك غلافين بالوشـاح العلوي : الغلاف الصـخري وهو الذي يكون عند إلتقاء القشـرة بالوشـاح العلوي وهو من منطقة صـلبة وفي صـخور صـلبة وتختلف سـماكة الصّـخور من مكان إلى آخر. الغلاف المانع وهو يلي الغلاف الصّـخري وهو المكان الذي يحدث به الصّـهير بين الصـخور وهو المسـؤول عن تيارات الإنجراف القارّي. الوشـاح السّـفلي وهو يكون بعمق 650 من قشـرة الوشـاح وتكون الصّـخور فيه متجانسـة وكثيفة وتتكوّن من السـيلكون والمغنيسـيوم والحديد. النواة الخارجية ويبدأ من قاعدة الوشـاح و من الجدير بالذّكر أنّه يتكوّن من الحديد في حالة السّـيولة وبعض العناصـر وهو حار جداً ويتصرّف هذا السائل بشكل كهربائي مع دوران الأرض مكوّن التّيارات الكهربائيّة داخل الأرض. النواة الداخلية ويقع في مركز الأرض وهو صلب ومنفصل تماماً عن الوشـاح ومتصـل بالنواة الخارجية وهو قوي والسـبب في ذلك نتيجة لتجمد الضغط للسوائل.

التاريخ الجيولوجي للأرض

بدأ التاريخ الجيولوجي للأرض منذ سـنوات 4567000000 عندما تشـكلت الكواكب في النظام الشمسـي من السديم الشمسـي، كتلة القرص على شكل من الغبار والغاز التي خلفها تشـكيل أحد المنصـهر في البداية، والطبقة الخارجية للكوكب الأرض تبرد لتشكيل قشرة صـلبة عندما بدأت المياه تتراكم في الغلاف الجوي. وشـكلت القمر بعد ذلك بقليل، وربما نتيجة لجسـم بحجم كوكب المريخ مع حوالي 10 ٪ من كتلة الأرض،) المعروفة باسـم Theia، مما يؤثر على

الأرض في ضربة خفيفة. بعض الشامل هذا الكائن اندمجت مع وطرد الأرض وجزء واحد في الفضاء، ولكن ما يكفي من المواد لتشكيل نجا تدور حول القمر.

إطلاق الغازات المنتجة والنشـــاط البركاني الغلاف الجوي البدائي. أنتجت التكثيف بخار الماء، تضاف اليها الجليد الذي ألقاه المذنبات، والمحيطات.

كما السطح إعادة تشكيل نفسها بشكل مستمر على مدى مئات الملايين من السنين، وشكلت القارات وفضت. هاجر والقارات عبر السطح، والجمع بين الحين والآخر وتشكيل عظمى. ما يقرب من 750 ما (مليون سنة) بدأ، وأقرب Rodinia المعروفة عظمى، لكسر حدة. القارات في وقت لاحق إلى شكل معاد Pannotia، ما 600–540، ثم أخيرا Pangaea، التي تحطمت 180 ما.

وبدأ النمط الحالي للعصور الجليدية ما يقرب من 40، ثم تكثفت خلال العصر الجليدي حوالي 3 ما. المناطق القطبية ومنذ ذلك الحين شـــهدت تكرار دورات التجلد وذوبان الجليد، وتكرار كل ســـنة 40،000–100،000. وانتهت الفترة الماضية الجليدية في العصر الجليدي الحالية منذ حوالي 10،000 سنة.

ويمكن التاريخ الجيولوجي للأرض تصـــنيفها في فترتين : ما قبل الكمبري و supereon ودهر Phanerozoic.

الحقبة الأولية

هي أول وأطول الحقب الجيولوجية الثلاثة لدهر البشائر، والتي تمتد من (541.0 ± 1.0) حتي (252.17 ± 0.06) مليون سنة مضت وتنقسم إلى ست عصور جيولوجية (من الأقدم إلى الأحدث)

الكمبري، اوردوفيكي، السيلوري، الديفوني، الفحمي، والبرمي تأتي الحقبة الأولية بعد حقبة الطلائع الحديثة من دهر الطلائع، وتتبعها الحقبة الوسطى.

كان الفترة الزمنية للحقبة الأولية مثيرة من الناحية الجيولوجية، والمناخية، والتغيرات التطورية. فقد شهد عصر الكمبري تنوع سريع للحياة وعلى نطاق واسع في تاريخ الأرض، وتعرف هذه الفترة بالانفجار الكمبري، فيه أول ظهور لمعظم الكائنات الحية الحديثة.

تطور كل من الأسماك، المفصليات، البرمائيات والزواحف خلال الحقبة الأولية. بدأت الحياة في المحيطات ولكن في نهاية المطاف انتقلت إلى الأرض، وبحلول أواخر الحقبة الأولية سيطر عليها أشكال مختلفة من الكائنات الحية. غطت غابات كبيرة من النباتات البدائية جميع القارات، وكثير منها شكل طبقات فحمية في أوروبا وشرق أمريكا الشمالية في نهاية الحقبة، هيمنت الزواحف الكبيرة المتطورة وظهرت أول النباتات الحديثة .

أنتهت الحقبة الأولية مع أكبر انقراض جماعي في تاريخ الأرض، حدث انقراض العصر البرمي الترياسي وكانت آثار هذه الكارثة المدمرة بأن انهكت الحياة

على الأرض مدة 30 مليون سـنة حتى تعافت في الحقبة الوسطى [3].وكان انتعاش الحياة في البحر أسرع بكثير.

في أمريكا الشمالية، بدأت الحقبة بأحواض رسوبية عميقة على طول الجانب الشرقي والجنوب شرقي والغربي من القارة في حين كانت الأراضي الداخلية جافة. كما استمرت البحار الهامشية باجتياحها بشكل دوري على المناطق الداخلية مستقرة وتركت أثر الصخور الرسوبية. خلال بدايات من هذه الحقبة، تآكلت الصخور في وسط كندا في المناطق الخاضعة لما قبل الكمبري، بحيث زادت الرواسب في الأحواض من الداخل. في بداية عصر الأوردوفيشي، تشكلت الجبال في الجزء الشرقي من منطقة الآبالاش خلال الفترة المتبقية من الحقبة، مما جلب رواسب جديدة. غطت الرواسب المنحدرة من جبال الأكادية الجزء الغربي من أحواض الآبالاش لتشكل مستنقعات الفحم الشهيرة في العصر الكربوني .لا يستخدم مصطلح العصر الفحمي (carboniferous) في أمريكا الشمالية بشكل عام، بل بدلا من ذلك تم تقسيم الوقت ما بين عصري المسيسيبي والبنسلفاني بسبب اختلافات الصخور الرسوبية خلال تلك الفترة. يتميز عصر المسيسيبي بالرواسب الجيرية في البحار الضحلة، وعادة مع أحافير زنابق البحر الوفيرة كما في تشكيل برلنغتون. ويتميز عصر البنسلفاني بالرواسب البرية مثل الرمال، الصخر الطيني والأهم من ذلك الفحم. ويتم الحصول على معظم النفط والغاز من رواسب البنسلفاني.

تشير دراسات المناخ القديم من الأنهار الجليدية أن منطقة وسط أفريقيا كانت شبيهة بحد كبير من المناطق القطبية خلال بدايات الحقبة الأولية.

- بدايات الحقبة الأولية : بداية تشكل القارة الضخمة غندوانا أو أنها قد تشكلت مسبقا.

- منتصف الحقبة الأولية : اصطدمت قارتي أمريكا الشمالية وأوروبا ونتج عن ذلك إرتفاعات الأكادية-كالدونيان، ورفعت الصفيحة الانغرازية شرق استراليا.

- أواخر الحقبة الأولية : شكلت الاصطدامات القارية بانجيا العملاقة وأدت تكون بعض السلاسل الجبلية الكبيرة، منها الابالاتشيا، الأورال وجبال تسمانيا.

بعد بداية الحقبة الأولية بوقت قصير تفككف القارة العملاقة بانوتيا وطول مدة الحقبة الأولية المبكرة، تكسرت اليابسة إلى عدد كبير من القارات. وقرب نهاية الحقبة تجمعت القارات معا لتكون القارة الكبرى بانجيا التي شملت معظم مساحة اليابسة في الكرة الأرضية.

عصر الكامبري

يعتبر أول عصر جيولوجية من عصور الحقبة الأولية ويمتد ما بين 541.0 ± 1.0 إلى 485.4 ± 1.9 مليون سنة مضت ويأتي بعده عصر الأوردوفيشي. تأسست هذه الفترة بواسطة العالم الجيولوجي آدم سيدجويك، الذي أطلق عليها الاسم نسبة إلى كامبريا (Cambria) ، الاسم اللاتيني لويلز، حيث وجدت أول أحجار من ذلك العصر. يعتبر الكامبري فريد للنسبة المرتفعة للرواسب الأحفورية التي تكونت خلاله. وهذه أماكن حفظ طبيعية، حيث احتفظت بأجزاء

لكائنات حية كانت صـــغيرة و'لينة' وكذلك أصـــدافها الأكثر مقاومة. وهذا يعني أن فهمنا لبيولوجيا الكامبري تفوق بعض الفترات القادمة.

تعد حقبة الكامبري من أقدم الحقب في تاريخ الأرض، والتي امتدت من 543 إلى 490 مليون سـنة. في البدأ اقتصـرت الحياة على وحيدات الخلية مع بعض الكائنات متعددة الخلايا. و لكن ، خلال نفس الحقبة ، ظهرت مجموعة متنوعة من الأشـــكال الحية الغير الاعتيادية والتي كانت مكتملة و مثالية الشـــكل. كل هذه الأشكال الحية جاءت مغايرة تماما لسابقاتها، حيث كانت لها صفات معقدة مطابقة لما هو عليه الحال بالنسبة لجميع الكائنات الحية في وقتنا الراهن.

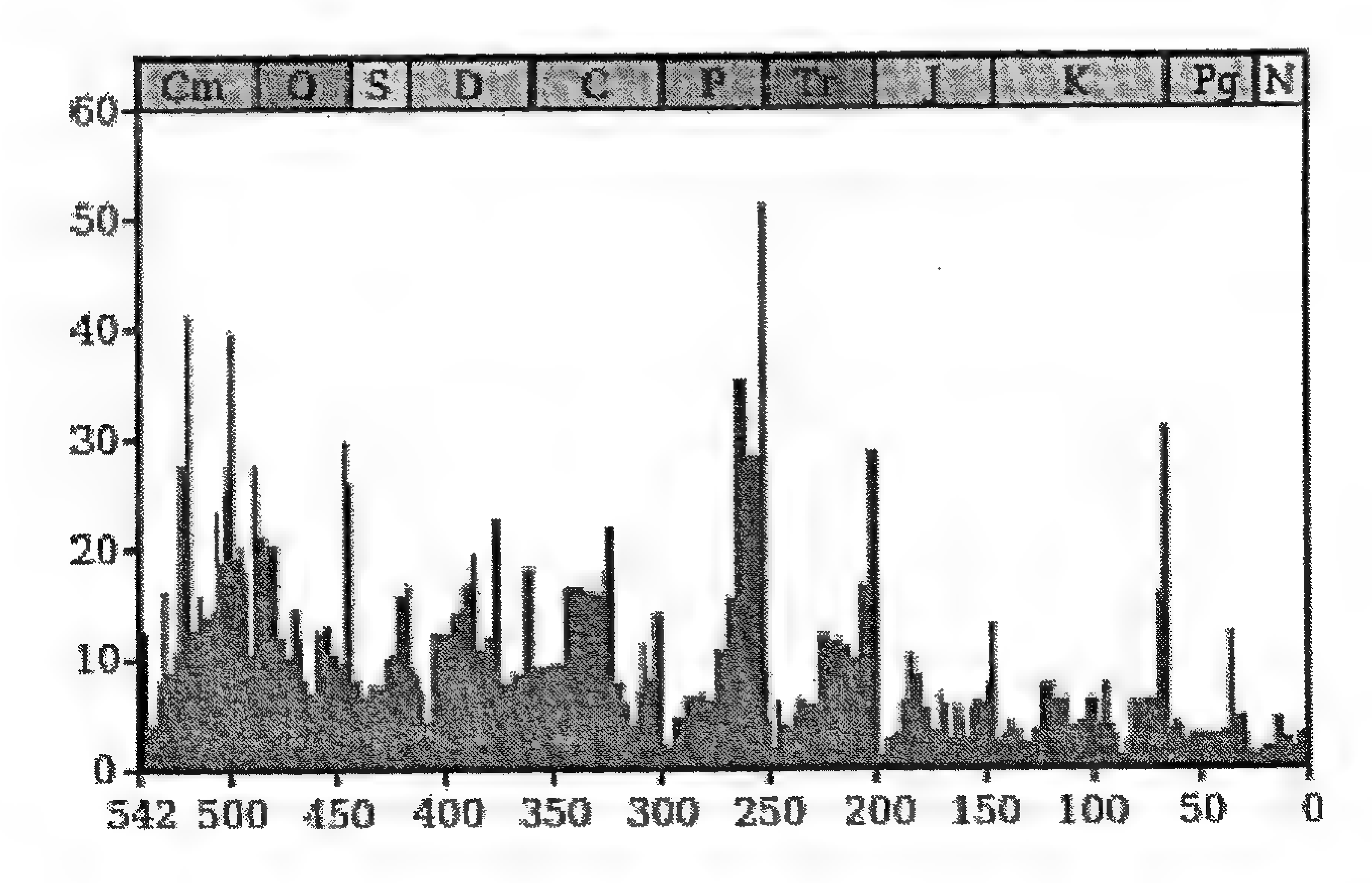
لوحظ على الكامبري تغير عميق في الحياة على الأرض؛ حيث كانت الكائنات الحية قبل الكامبري صـغيرة، وحيدة الخلية وبسـيطة. وبشـكل تدريجي أصـبحت الكائنات متعددة الخلايا معقدة وأكثر شيوعا على مر ملايين السنين التي سبقت الكامبري مباشـرة، ولكنها لم تتحجر لتصـبح أحفورات بسـهولة [4]يسـمى التنوع السـريع لأشـكال الحياة في العصـر الكامبري باسـم الانفجار الكامبري، نتجت أولى أشـكال الشـعب الحديثة المتعددة، وتمثل الجذور التطورية للأنواع الحديثة، مثل الرخويات والمفصـــليات. في حين ازدهار أشـــكال الحياة المتنوعة في المحيطات ، بالمقابل كانت الأرض قاحلة – ليس أكثر تعقيدا من قشـــرة التربة الميكروبية وعدد قليل من الرخويات التي ظهرت لتقتات على البيوفيلم الميكروبية،وربما كانت معظم القارات جافة و صـخرية لعدم وجود الغطاء النباتي. وتحيط البحار الضـــحلة على حدود عدة قارات تكونت أثناء

تفكك القارة العملاقة بانوتيا .البحار كانت دافئة نسـبيا، وكان الجليد القطبي غير موجود في هذه الفترة.

كانت درجة الحرارة خلال الكامبري دافئة بمتوسـط يصـل إلى 21 درجة مئوية، ونسـبة الأكسـجين في الجو 12.5%، كما وصـل تركيز ثاني أكسـيد الكربون في الجو نحو 4500 جزء في المليون جزء وهذا أعلى نحو 16 مرة من تركيزه في عصرنا الحديث قبيل الثورة الصناعية.

الحقبة الوسطى

وهي الحقبة الجيولوجية الوسـطى. وفيها عصـر الزواحف الكبري قبل 248 إلى 65 مليون سنة. وظهر فيه عصـر الثدييات التي استمرت حتى عصـرنا الحالي . تضـم الحقبة الوسـطى ثلاثة عصـور جيولوجية :العصـر الترياسـي و العصـر الجوراسي و العصر الطباشيري: (شكل: وصف الحقب الجيولوجية)



العصر الثلاثي (الترياسي) :Triassic Period العصر الثلاثي بعد حدث انقراض العصر البرمي الترياسي قبل 250 مليون سنة . بدأ العصر الترياسي منذ 230 وانتهى قبل 180 مليون سنة . فيه ظهرت الديناصورات الأولية و الثدييات والقواقع وبعض الزواحف كالسلحفاة و الذباب و النباتات الزهرية .وقد انتهي هذا العصر بانقراض صغير قضى على 35% من الحيوانات منذ 213 مليون سنة (أنظر الصورة) بما فيها بعض البرمائيات والزواحف البحرية مما جعل الديناصورات تسود في عدة جهات فوق الأرض.

العصرالجوراسي :Jurassic period عصر الديناصورات العملاقة منذ 181 إلى 135 مليون سنة، وفيه ظهرت حيوانات الدم الحار وبعض الثدييات والنباتات الزهرية. مع بداية ظهور الطيور و الزواحف العملاقة بالبر والبحر. ومنذ 170 إلى 70 مليون سنة كانت توجد طيور لها أسنان وكانت تنقنق وتصدر فحيحا. كما ظهرت في هذه الفترة الدبلودوكس أكبر الزواحف التي ظهرت وكانت تعيش في المستنقعات، وكان له رقبة ثعبانية طويلة ورأس صغير يعلو به فوق الأشجار العملاقة. وظهرت الزواحف الطائرة ذات الشعر والأجنحة وكانت في حجم الصقر. وظهر طائر الإركيوبتركس وهو أقدم طائر وكان في حجم الحمامة. وكانت أشجار السرخس ضخمة ولها أوراق متدلية فوق الماء وأشجارالصنوبر كان لها أوراق عريضة وجلدية (حاليا أوراقها إبرية). ومنذ 139 مليون سنة ظهرت الفراشات و حشرات مثل النمل والنحل البدائية. وقد حدث به انقراض صغير قبل 190 إلى 160 مليون سنة.

العصر الطباشيري (الكريتاسي) : Cretaceous period منذ 135 إلى 65 مليون سنة. وفي آخره قبل 65 مليون سنة انقرضت الديناصورات بعد أن عاشت فوق الأرض 100 مليون سنة ، ويسمى حدث انقراضها انقراض العصر الطباشيري- الثلاثي.

زادت في العصر الطباشيري (الكريتاسي) أنواع وأعداد الثدييات الصغيرة البدائية كالكنغر و النباتات المزهرة التي انتشرت . وظهرت أشجار البلوط و الدردار و الأشنات .كما ظهرت الديناصورات ذات الريش و التماسيح .ومنذ 120 مليون سنة عاشت سمكة البكنودونت الرعاشة وطيور الهيسبرنيس بدون أجنحة والنورس ذو الأسنان وكان له أزيز وفحيح. وكانت الزواحف البحرية لها أعناق كالثعابين. ومنذ 100 مليون سنة ظهرت سلحفاة الأركلون البحرية وكان لها زعانف تجدف بها بسرعة لتبتعد عن القروش وقناديل البحر . ومنذ 80 مليون سنة كان يوجد بط السورولونس العملاق الذي كان يعيش بالماء وكان ارتفاعه 6 م وله عرف فوق رأسه. وفي هذه الفترة عاش ديناصور اليرانصور المتعطش للدماء وكان له ذراعان قصيرتان وقويتان ليسير بهما فوق اليابسة، وكانت أسنانه لامعة وذيله لحمي طويل وغليظ ومخالبه قوية وكان يصدر فحيحا. وكان يوجد حيوان الإنكلوصور الضخم وهو من الزواحف العملاقة وكان مقوس الظهر وجسمه مسلح بحراشيف عظمية.

وشهد هذا العصر نشاط الإزاحات لقشرة الأرض وأنشطة بركانية، وفيه وقع انقراض أودي بحياة الديناصورات منذ 65 مليون سنة، وقضي على 50% من أنواع اللافقاريات البحرية. وتشير البحوث إلى أن سببه مذنب هائل هوي وارتطم

بالأرض مما غطى سماء الارض بالغبار والغازات فحجبت الشمس لسنين طويلة و نشاط البراكين المحتدمة التي تفجرت فوقها. ومنذ 70 مليون سنة ظهرت حيوانات صغيرة لها أنوف طويلة، وكانت تمضغ الطعام بأسنانها الحادة وتعتبر الأجداد الأوائل للفيلةو الخرتيت و أفراس البحر و الحيتان المعاصرة.

بدأت الحقبة الوسطى التي استغرقت نحو 140 مليون سنة (بين 200 إلى 65 مليون سنة سبقت) بعد حدث انقراض العصر البرمي الترياسي عند نهاية العصر البرمي ، ولا زال سبب هذا الانقراض غير معروف ؛ وفي هذا الحدث الأكبر في تاريخ الأرض أودت بحياة نحو 75% - 90 % من جميع ما على الأرض من حيوانات ونباتات . وقد ساعد ذلك على تطور أنواع جديدة من النبات والحيوان.

ظهرت الديناصورات التي سادت في الأرض ، ثم انقرضت هي الأخرى بعد أن عاشت نحو 100 مليون سنة ، حيث حدث انقراض أخر وهو انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي قبل 65 مليون سنة. في هذا الانقراض ماتت الديناصورات وبقيت أسلاف الطيور وأسلاف التماسيح التي نعاصرها اليوم.

وتطورت حيوانات بتيروصورات و أنواع كثيرة من الزواحف المائية ، ولكنها انتهت هي الأخرى وانقرضت في أواخر الحقبة الوسطى قبل 65 مليون سنة.

وظهرت خلاف ذلك حيوانات ثديية صغيرة وكبيرة ، كما ظهرت أوائل النباتات المزهرة ومع معظم أنواع الأشجار الموجودة حاليا.

توجد مؤشرات إلى سقوط نيزك كبير في نهاية الحقبة الوسطى على شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك . يعتبر هذا الحد هو سبب انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي الذا أدى إلى انقراض نحو 50% من جميع الحيوانات والنباتات ؛ ومن ضمنها انقرضت أيضا الديناصورات و الديناصورات الطائرة و الأمونيت و البليمنويديا) حيوانات بحرية تشبه الرأسقدميات (، وكذلك معظم ما كان يعيش من الزواحف البحرية.

بدأت الحقبة بحدث انقراض عظيم يعتبر أشد الاحداث التي حدثت على الأرض وهو انقراض العصر البرمي الترياسي وانتهت انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي قبل 65 مليون سنة.

أدى هذا الحدث الأخير إلى انقراض الديناصورات وبعض الحيوانات الأخرى وبعض النباتات ، وقضي على نحو 50% من الحياة على الأرض. وعاصرت الحقبة الوسطى انفصال القارة العظمى بانجيا إلى لوراسيا في الشمال و غندوادنا في الجنوب . ثم انشقت تلك القارتان الكبيرتان تدريجيا لتتخذ شكلا قريبا مما نعاصره الآن من توزيع لليابسة ، ونشأة للفصول المناخية ، وبدأ تجمد الجليد عند القطبين الشمالي والجنوبي.

كانت الأرض بصفة عامة أدفأ مما هي عليه الآن. ظهرت الديناصورات في أواخر العصر الثلاثي (الترياسي) ، وسادت على جميع الحيوانات الفقرية خلال العصر الجوراسي ، وظلت السائدة لمدة 135 مليون سنة حتى انقضت خلال انقراض العصر الطباشيري.

ظهرت الطيور أول مرة خلال الجوراسـي وتتطورت من أحد فروع الثيروبودا من الدينوصـورات . كما ظهرت أيضـا أوائل الثدييات خلال الحقبة الوسـطى ولكنها كانت صـغير الأحجام ولا تزيد عن 15 كيلوجرام. اسـتطاعت الطيور والثدييات والتماسـيح المعيشـة بعد انقراض العصـر الطباشـيري–الثلاثي وتتطورت إلى ما نعهده اليوم من حيوانات.

الحقبة المعاصرة

وهي حقبة زمنية امتدت من 65.5 مليون سنة مضت إلى الوقت الحالي. الكلمة الإنجليزية "سـينوزي" تعني الحياة الحديثةوقد أشـتقت من الكلمتين اليونانيتين - καινός) كينوس (وتعني "حديث - ζωή) + "زوي (وتعني "الحياة". بدأت هذه الحقبـة بعـد أحـداث انقراض العصـر الطبـاشـيري–الثلاثي في نهـايـة عصر الكريتاسي والتي شهدت زوال أخر الديناصورات الغير طائرة (فضـلا عن غيرها من النباتات البرية والبحرية والحيوانات) ونهاية حقبة الميسـوزي تعرف الحقبة المعاصرةأيضا بـعصر الثدييات، لأن انقراض الديناصورات الغير طائرة سمح بالتنوع الكبير للثدييات و سيطرتها على الأرض.

دهر البشائر

يمتد من 542 مليون سـنة مضـت حتى زمننا هذا. وهو أحد دهور الجدول الزمني الجيولوجي الذي ظهرت فيه الحياة المركبة لأول مرة. ويبدأ في الوقت الذي ظهرت فيه الحيوانات القشرية (الأصداف) لأول مرة. كان يعتقد بأن الحياة قد بدأت في الكمبري، أول عصـر في هذا الدهر. يسمى الوقت الذي قبل دهر

البشـــائر، زمن ما قبل الكمبري، ألذي ينقســم إلىالدهر الجهنمي، الدهر السحيق، ودهر الطلائع.

يشمل المدة الزمنية لدهر البشائر:

- ظهور سريع لعدد من الشعب الحيوانية.
- تطور هذه الشعب إلى أشكال متنوعة.
- ظهور النباتات البرية.
- نمو النباتات المعقدة.
- تطور من الأسماك.
- ظهور الحيوانات البرية.
- تطور الحيوانات الحديثة.

وانجرفت القارات لتجتمع في النهاية في كتلة واحدة تعرف باســم بانجيا ثم أنقسمت إلى ماهي عليه الآن.

التغير المناخي في الأرض وتأثيره على التاريخ الجيولوجي

نظرة عامة

يعتبر مناخ الأرض مناخ متقلب طبيعيا، حيث يتقلب بين الارتفاع والانخفاض في الحرارة على مر الزمن منذ مئات وآلاف الســنين. إنّ الأرض حاليا في فترة

من الارتفاع في الحرارة منذ نهاية العصــر الجليدي القصــير الذي حل بأوروبا وشمال أمريكا في بداية القرن السابع عشر. وفي السنوات الأخيرة، ظهرت هناك مخاوف من إمكانية تأثير النشاطات البشرية على العمليات الطبيعية التي تنظّم درجة الحرارة على الأرض. بشكل خاص، فإن عملية استخدام الوقود في إنتاج الطاقة وتقليص مســاحة الغابات أدى إلى زيادة كمية ثاني أكســيد الكربون إلى الجوّ بنسبة هائلة حيث اصبح دورة ثاني أكسيد الكربون الطبيعية في الجو غير قادرة إلى اســتيعاب هذه الكمية مما يؤدي إلى تراكمها في الغلاف الجوي. لكن يبقى هناك ســؤال, ما مدى تأثير وجود ثاني أكســيد الكربون وبعض الغازات الأخرى في الجو على التغير في المناخ؟.

إنّ درجة حرارة الأرض متأرجحة لكن ضــمن نطاق يبقيها ملائمة للحياة، وذلك نتيجة لما يسمى بـ "ظاهرة الدفيئات". تحدث هذه الظاهرة نتيجة تجمع غاز ثاني أكســيد الكربون وبعض الغازات الأخرى مثل غاز الميثان وبخار الماء "غازات الدفيئات" على شــكل غلاف يحيط بالأرض يختلف تركيزه من منطقة لأخرى، ومن ميزات هذا الغلاف هو انه يســمح بمرور الأشــعة ذات التردد المنخفض ويمنع ذات التردد العالي. إن الأشعة القادمة من الشمس والتي تكون عادة ذات تردد منخفض تمر من خلالـه نحو الأرض، وعند وصــولها الأرض تمتص الأرض جزء من طاقة الأشــعة وتعكس الباقي إلى الجو مره أخرى ولكن بتردد عالي على شــكل أشــعة تحت حمراء حيث يتم امتصــاصــها في هذا الغلاف الغازي مم يؤدي إلى اكتســابه بعض طاقة ويقوم بدوره بإعادة إرســالها نحو الأرض مم يشكل مصدر إضـافي للطاقة. إنّ النتيجة النهائية لهذه العملية هي

إعادة توزيع الطاقة بحيث يجعل الحرارة في الطبقة ما بين الغلاف والأرض مرتفعة والتي فوق الغلاف منخفضة. إن هذه الظاهرة وما يرافقها من ارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض تجعل من الأرض كوكب مناسب لكافة أشكال الحياة.

لكن بعد الثورة الصـــــناعية، ارتفع تركيز غازات الدفيئات في الجو مما يعني ازدياد كمية الأشعة الممتصة وكمية الطاقة التي تنعكس نحو الأرض مما أدى إلى ارتفاع متوسط حرارة الأرض فوق المعدل الطبيعي، وهو ما أدى إلى تحويل هذه الظاهرة الطبيعية إلى ظاهرة سلبية تهدد مناخ الأرض والطبيعة. ولعل أسوء النتائج قد تكون في ارتفاع مســـتوى ســـطح البحار نتيجة التمدد الحراري للمحيطات والذوبان المحتمل لبعض طبقات الجليد والثلوج في القطب الجنوبي، وهناك أيضـــا مخاوف أخرى من احتمال حدوث تغير في أنماط المناخ وتوزيع الأمطار على سطح الأرض والتي قد تسبب إجهاد للنظام البيئي.

يعتبر بخار الماء في الجو من أكثر غازات الدفيئات انتشـــارا بالإضـــافة إلى مجموعة من الغازات الأخرى مثل ثاني أكســـيد الكربون الميثان التي تنتج من مصادر طبيعية واصطناعية "الناتجة من النشاطات البشرية المختلفة"، وهناك غازات أخرى تنتج من مصـــادر صـــناعية مثل اكاســـيد النيتروجين وغاز كلوروفلوروكاربون أو ما يعرف بـــ(CFCs)الذي يستعمل في التبريد ولمكافحة النيران. تشـــكّل غازات الدفيئات ما مجموعة أقل من 0.1 بالمائة من غازات الغلاف الجوي وتشـــير المقاييس بأن كمية غاز ثاني أكســـيد الكربون في الجو ارتفعت من 280 إلى 360 جزء لكل مليون منذ بداية الثورة الصـــناعية، كما

لوحظ أن هناك ارتفاع في كمية غاز الميثان والذي يعتبر اصطناعي المصدر مثل الممارسات الزراعية مثل تربية الماشية ومزارع الأرز ومصادر أخرى.

ما هو المجهول؟

أن التنبؤات في ارتفاع درجة الحرارة سطح الأرض جاءت من برامج الكمبيوتر التي تمثل مناخ الأرض (نمذجة المناخ) حيث تقوم بربط المبادئ النظرية والمعلومات المتوفرة حول أنماط المناخ الماضية. إن الزيادة في غازات الدفيئات من المصادر الاصطناعية معروفة ببعض الحقيقة، لكن القليل يعرف حاليا حول الأجزاء المهمة الأخرى في هذا الموضوع. النقاش العلمي ما زال مستمرا حول مدى مساهمة غازات الدفيئات الاصطناعية في رفع درجة الحرارة سطح الأرض. لقد أظهرت الأبحاث العلمية العلاقة بين المحيطات ولأرض والمحيط الحيوي والجو وتأثيرها على المناخ، لكن يبقى هناك بعض الغموض وهو هل في زيادة كمية بخار الماء والغيوم في الجو أي أثر في زيادة أو نقص درجة حرارة سطح الأرض. هذا بالإضافة إلى أن برامج الكمبيوتر لا تستطيع تحديد نوعية التأثير لهذه الظاهرة إقليميا، فعلا سبيل المثال، بينما بعض المناطق قد تستفيد من مناخ أكثر دفأ وفصول دافئة أطول، وفي المقابل يكون هناك مناطق أخرى قد تعاني من الجفاف.

ما هي المخاطر والمعوقات؟

أن الثورة الصناعية والنمو الاقتصادي في الدول المتطورة أعتمد بشكل أساسي على الوقود الغني بالكربون "الوقود الاحفوري" كمصدر للطاقة. مع أنة تم

تطوير وتحسين نوعية الوقود ورفع كفاءة طرق استعمال الطاقة، لكن يبقى الوقود الغني بالكربون المصدر الرئيسي للطاقة المستخدمة في المواصلات وتوليد الكهرباء. ففي دول مثل الهند والصين، ذات الكثافة السكانية العالية، تعتمد جميع أشكال التطور والنمو فيها على الوقود الاحفوري إذ أنه غير مكلف ومتوفر بسهولة. لهذا فإنه من الصعب صياغة اتفاقية دولية للتخفيض من إشعاعات غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئات الأخرى.

إن درجة المعرفة العلمية حول تغيير المناخ العالمي تزداد وتتغير باستمرار. معظم الكتب الدراسية تسرد فقط بعض الأمور المحدودة حول هذا الموضوع المعقّد، ولهذا يحتاج المعلمون إلى الاستعانة بمراجع خارجية للتزود بالمعلومات الإضافية. هذا بالإضافة إلى أن العديد من الكتب الغنيّة بالمعلومات المفيدة جدا عن موضوع تغيير المناخ العالمي قد أصدرت في السنوات الأخيرة.

دورة الكربون في الطبيعة والأسس الجوّية

إنّ نظام الأرض مكون من تفاعل الأنظمة الأربعة الرئيسية وهي الهواء والماء والأرض والمحيط الحيوي (الكائنات الحية). أن دورة المادة والطاقة خلال هذه الأنظمة الفرعية متوازنة على المدى القصير والبعيد. فعلا سبيل المثال، إن المواد الضرورية لاستمرار الحياة مثل الكربون والنتروجين والكبريت، والفسفور تمر في دورة طبيعية في الأرض والجو والمحيطات والمحيط الحيوي من خلال عمليات طبيعية مثل عملية التركيب الضوئي والتنفس والتحلل للمواد العضوية وغيرها.

يعتبر الكربون المادة الأساسية في عملية البناء الحيوي لجميع الكائنات الحية. ان كميات كبيرة من الكربون مخزونة في الوقود الاحفوري والذي هو بقايا نباتات وكائنات حية مدفونة تحت الأرض في طبقة الصخور الرسوبية. إن عملية استخدام هذا الوقود أدت إلى إضافة ثاني أكسيد الكربون إلى الجو بكميات كبيرة في فترة زمنية اقصر بكثير من التي تحدث نتيجة العمليات الطبيعية مثل البراكين والحرائق وعمليات التنفس والتحلل البيولوجي للكائنات الحية. وكما ذكر سابقا، فان غاز ثاني أكسيد الكربون يلعب دور أساسي في تنظيم درجة حرارة سطح الأرض. من المعروف أن جميع غاز ثاني أكسيد الكربون لا يبقى في الهواء، فهناك كميات كبيرة يتم استهلاكها في عملية التمثيل الضوئي في النبات كما أن جزء كبير أيضا تمتصه مياه الأمطار والبحار والمحيطات. فعلى سبيل المثال أدت عمليات إزالة الغابات إلى حدوث خلل في دورة ثاني أكسيد الكربون في الجو.

ظاهرة الدفيئات

إن ظاهرة الدفيئات هي ظاهرة طبيعية وتساهم في وجود بيئة طبيعية مناسبة للحياة على الأرض. وكان أول من لاحظ وجود هذه الظاهرة هو عالم الرياضيات جوزف فوريير في 1824 وفي أواخر القرن التاسع عشر أوضح العالم سفانتي آريهينيوس بأن ثاني أكسيد الكربون الناتج عن احتراق الوقود الاحفوري يساهم في تطور ظاهرة الدفيئات. وكما أشرنا سابقا فإن وجود غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو مع بعض الغازات الأخرى مثل بخار الماء وغاز الميثان يعمل على رفع درجة حرارة الأرض عن طريق امتصاصه لأشعة

الشمس المنعكسة عن الأرض (حوالي 47 بالمائة من مجموع الأشعة الساقطة على الأرض) ذات التردد العالي ثم تقوم بإعادتها إلى الأرض مما يساهم في زيادة درجة حرارة الأرض. وقد سميت هذه الظاهرة بظاهرة الدفيئات لأنها تشبه في عملها عمل الدفيئات الزراعية.

يتكون الهواء المحيط بالأرض بشكل أساسي من غاز النتروجين (78 بالمائة) والأوكسجين (21 بالمائة)، و غاز الأرجون (تقريبا 1 بالمائة) حيث تشكل في مجموعها ما نسبته 99.9 بالمائة من الجو. يحتوي الجو أيضا على بخار الماء، الذي يتفاوت في تركيزه حول الأرض طبقا للأحوال الجوية اليومية. كذلك يوجد غازات أخرى مثل ثاني أكسيد الكربون، الميثان، الأوزون، ثاني أكسيد النتروجين، وثاني أكسيد الكبريت لكن نسبتها قليلة بالنسبة للغازات الأخرى حيث تشكل في مجموعها أقل من 0.1 بالمائة من الجو، لكن بعكس الأوكسجين والنيتروجين فإن هذه الغازات قادرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء.

على الرغم من أن ثاني أكسيد الكربون من أكثر غازات الدفيئات شيوعا إلا أن بخار الماء يعتبر الأكثر أهمية من ناحية قدرته على امتصاص الأشعة تحت الحمراء، لهذا فإن إي تغيير بسيط في نسبة بخار الماء في الجو يمكن أن تعوض تغيير كبير في نسبة ثاني أكسيد الكربون. من غازات الدفيئات الأخرى يأتي غاز الميثان، وأكاسيد النيتروجين والكلوروفلوروكربون (CFCs) ولهذه الغازات قدرة كبيرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء وكذلك فترة بقائهن في الجو طويلة.

المناخ والطقس

الطقس هو عبارة عن الأحوال الجوية "درجة الحرارة، الرطوبة، الأمطار أو الرياح" التي تسود منطقة ما خلال فترة زمنية قد تمتد لأيام أو أسابيع أو أشهرا. أما المناخ فهو معدل الطقس لمدة طويلة لا تقل عن ثلاثين عاما. المناخ العالمي هو النظام الذي يوزّع الطاقة الشمسية على سطح الأرض. إن التسخين الغير متساوي لسطح الأرض يسبب الرياح التي تنقل الحرارة من خط الاستواء الحار إلى القطبين الباردين. تقوم المحيطات بخزن الطاقة الشمسية ونقلها حول العالم على طريق التيارات المائية العميقة الضخمة المعروفة بـــ "حزام النقل العظيم للمحيط". أن نظام نقل الحرارة عن طريق المحيط والرياح وتفاعلاتهم مع بعضهم البعض غير واضح علميا حتى الآن.

أل نينو ولا نينا El Nino And La Nina:

إنّ التفاعل بين تيارات المحيط والطقس العالمي يتمثل بالظاهرة المعروفة بـ أل نينو ولا نينا. وبشكل دوري، فإن تيار المحيط الغربي الخارج من ساحل البيرو يتوقّف مسببا طاقة حرارية في مياه جنوب المحيط الهادي التي تؤثّر على أنماط الطقس ومعدل درجات الحرارة العالمية وهذه الظاهرة تعرف بـــ أل نينو. في أحيان أخرى يكون التيار الغربي أقوى من معدلة مما يؤدي إلى تبديد الطاقة الحرارية في المحيط الهادي. وعندما تصبح درجة حرارة المحيط الهادئ أبرد من المعدل فإنها تؤدي إلى اخفض درجات الحرارة عالميا، وهذه الظاهرة تعرف بـ لا نينو.

المناخ في الماضي

إن تقييم التأثير البشري على التغير في المناخ معقّد لأنه يصعب التمييز بين التغيرات المناخية الناتجة عن التأثيرات الإنسانية وتلك الموجودة أصلا نتيجة التأثيرات الطبيعية. يمكن الاستدلال على أنماط المناخ السائدة في الماضي عن طريق فحص بعض البقايا الرسوبية المتحجرة أو الكتل الجليدية، ويتم دراسة بيانات المناخ السابقة في محاولة لفهم أسباب تغير المناخ ولمعرفة نتائجه وذلك للاستفادة منها في تخمين تغيرات المناخ المستقبلية.

أن برامج الكمبيوتر التي تنمذج المناخ (تعمل عمل نظام المناخ) إنما هي نماذج رياضية مستندة على تلك التي تستعمل للتنبؤ بأنماط الطقس المحلية، ولمعالجة العديد من المتغيرات والمعادلات الرياضية في هذه النماذج فلا بد وجود كمبيوترات سريعة في معالجة النظم حتى نتمكن من التنبؤ بتغيرات المناخ المستقبلية (نمذجة التغيرات المستقبلية للمناخ). إن نظام المناخ العالمي معقد، وأن العلاقة والتفاعلات القائمة بين المحيطات والغيوم ما زالت غير واضحة، ,وأن نماذج الكمبيوتر تعالج هذه العوامل بشكل منفصل. أن درجات الحرارة العالمية لم ترتفع كما تنبأت بها نماذج الكمبيوتر، وهذا ما قاد العلماء للبحث عن عوامل أخرى، مثل رذاذ الكبريتات الذي يعتقد أن له قدرة على التبريد ويعمل على موازنة الارتفاع في الحرارة العالمية.

ما هو المجهول؟

لا يوجد هناك أدنى شـــك بأن تركيز ثاني أكســـيد الكربون وغازات الدفيئات الأخرى زادت في الجو منذ بداية الثورة الصناعية، وأن لهذه الغازات القدرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء. هناك عدد من العمليات الطبيعية التي تحدث في الجو أو على الأرض لا يوجد لها أساس علمي وغير واضحة حتى الآن. فعلى سبيل المثال قضية الكربون "المفقود"، وذلك أن حوالي نصف كمية ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود الاحفوري أو من مصادرة الطبيعية تبقى في الجو، أما النصـــف الآخر فيعتقد أنه تتم إزالته عن طريق ذوبانه في المحيطات وفي عملية التركيب الضـوئي في النبات، ولكن المساهمة النسبية لهاتين العمليتين ليســت معروفة. كذلك إن مقدار وتوقيت أي ارتفاع في الحرارة العالمية في أي بقعة جغرافية وتأثيرها ما زال مسألة نقاش وبحث.

إن صناع القرار في الولايات المتّحدة والبلدان الأخرى يسعون إلى وضع اتفاقية حول الإجراءات اللازمة لتخفيض كمية غازات الدفيئات الناتجة عن النشـاطات البشــرية (اصـــطناعية المصـــدر) والعمل على تخفيف تأثيرها المحتمل على المناخ. في عام 1997 تم إبرام معاهدة كيوتو الخاصـــة بالتغير في درجة حرارة المناخ والتي وقّعت عليها العديد من الدول (لكن لم يصـــادق عليها حتى الآن) والذي يهدف إلى إلزام الدول الصـــناعية الكبرى لتخفيض إشـــعاعاتها من غاز ثاني أكســـيد الكربون وغازات الدفيئات الأخرى. لكن يوجد هناك خلاف جدي واحد هو أن الدول النامية والكبيرة مثل الهند والصـــين لن تخضـــع لقيود هذه المعاهدة على الرغم من أن اســـتعمالهم للطاقة ســـيفوق الولايات المتحدة في

السـنوات القادمة. تقترح معاهدة كيوتو آليات لتشـجيع الدول المتطورة على نقل خبراتهم في استخدام الطاقة ومكافحة التلوث إلى الدول النامية.

المصادر والمراجع

- العمري، فاروق صنع الله، وعامر داود نادر، 2013: (مبادئ الجيولوجيا التاريخية). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، 628 صفحة.
- ساندرس، جون، وألان أندرسون، 2008: (الجيولوجيا الفيزيائية). ترجمة مجيد عبود الطائي، 1983، منشورات جامعة البصرة، جزءان، 894 صفحة.
- عزيز، رافد محمود؛ الحافظ، نبيل مصطفى؛ السمان، عزام؛ اسود، خالد جلال،
- (علم الصخور المتحولة). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، مطبعة جامعة الموصل، العراق 1987. 239 ص.
- ميسن، روجر.رافد محمود عزيز(مترجم)، (علم الصخور المتحولة). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، العراق 1988. 353 ص
- بدر نعمة البدران، مقالات عن الصخور وانواعها، جامعة البصرة– كلية العلوم– علم الأرض.
- نورست الصباح، مقالات عن تصنيف الصخور الرسوبية، جامعة البصرة– كلية العلوم– علم الأرض.
- علي مفتاح الجرجر، علم المياهيات، دار الأمالي الكويتية – الكويت 2009 ط1.

- عبدالله هالله المعموس، طبقات الأرض. دراسة شاملة. منشورات مجلة الصفاء الموريتانية– نواكشوط 2005.

الفهرس

علم الأحافير والجيولوجيا









دار الجنادرية للنشر والتوزيع
دار يافا العلمية للنشر والتوزيع

الأردن - عمان - الأشرفية
تلفاكس ٠٠٩٦٢٦٤٧٧٨٧٧٠
جوال 962796296514
ص.ب ٥٢٠٦٥١ عمان ١١١٥٢ الأردن
Email: dar_yafa@yahoo.com
dar_janadria@yahoo.com

